

UNIVERSIDAD DE SALAMANCA
MÁSTER DE GEOTECNOLOGÍAS CARTOGRÁFICAS
EN INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
CURSO 2018 / 2019



ESCUELA POLITÉCNICA
SUPERIOR DE ÁVILA

TRABAJO FIN DE MÁSTER

**APLICACIÓN DE LAS GEOTECNOLOGÍAS CARTOGRÁFICAS
PARA EL SEGUIMIENTO CONSTRUCTIVO DEL MOVIMIENTO
DE TIERRAS DE UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA Y SU
CAMINO DE ACCESO**

ALUMNO: LUCIO LÓPEZ CIFUENTES
TUTOR: PROF. D. DIEGO GONZÁLEZ AGUILERA
ÁVILA. JULIO 2019

Resumen.

La evolución tecnológica en el mundo es una realidad. En los campos de la Ingeniería y la Arquitectura, la tecnología está presente cada vez con mayor frecuencia, puesto que es multidisciplinar, facilita el trabajo y permite obtener unos resultados muy precisos y que además pueden ser compartidos de forma sencilla y útil.

La técnica de la fotogrametría para la obtención de productos cartográficos ha sabido adaptarse al mundo de la tecnología y con la aparición de los sistemas de aeronaves pilotadas de forma remota (en adelante, RPAS) para la obtención de datos, permite rapidez y un ahorro de costes frente a otros métodos aéreos.

El objetivo de este trabajo es la confirmación de que el uso de las geotecnologías cartográficas es un método fiable y conciso para realizar el seguimiento topográfico de un proyecto de Ingeniería Civil.

Para ello, se pretende realizar un seguimiento de la evolución de un movimiento de tierras mediante la obtención de productos cartográficos a través de la técnica de la fotogrametría, obteniendo los datos mediante el uso de RPAS.

Abstract

The technology development in the world is a reality. In the engineering and architecture fields, the technology is present more frequently, because it is multidisciplinary, it facilitates the work and it allows to achieve very accurate results, that it could be share in an easy and useful way.

The photogrammetry technique to obtain cartographic products has learned to adapt to the technology's world, and with the appearance of the aircraft systems that are pilot in a remote way (henceforth RPAS), to obtain information, it allows rapidity and costs saving against other air methods.

The aim of this project is the confirmation that the use of the cartographic geotechnologies is a reliable and concise method to make the topographic monitoring in a civil engineering.

In doing so, it is intended to carry out a monitoring of the land's movements by obtaining cartographic products through the photogrammetry technique, obtaining data by using RPAS.

Agradecimientos

Quiero agradecer a todo el personal que trabaja de la Escuela Politécnica Superior de Ávila el trato y el ánimo que durante, ya unos cuantos años, siempre me han brindado, y que hace que uno se sienta “como en casa”, siempre con unas buenas palabras y mejores actos, animan a uno a continuar y a no desfallecer en aquellos momentos más duros.

Quiero agradecer también a todos los que han dedicado su tiempo a facilitarme la labor en la elaboración de este y otros documentos, Óscar, María, Carmen, Sara, José Luis y otros de los que no me gustaría olvidarme.

También quiero agradecer a mis padres, la vida que me han brindado, superando en muchas ocasiones sus posibilidades, proporcionándome a mi y a mis hermanos la mayor de las herencias posibles... ¡la educación y los valores de esfuerzo y superación!, por ello siempre les estaré agradecido.

Pero, hay alguien a quien me gustaría expresar especial agradecimiento, no por este curso, si no por el curso que llevamos conjuntamente desde que nos conocimos, esa persona se llama Vanessa. Siempre a mi lado, dándome su apoyo , soportando mis cambios de humor, animando sin pedir nada a cambio. Ella es el pilar que soporta la estructura. Juntos hemos ido creciendo, y cimentando una relación que cada vez es más fructífera y que por el momento ha generado los bienes más preciados que tenemos, Marcos y Celia. No me cabe la menor duda, que juntos conseguiremos lo que propongamos.

“La enseñanza más importante que la historia ofrece a las personas tal vez sea que en cierto momento nadie sabía lo que sucedería en el futuro”

Haruki Murakami

1Q84

Índice

Resumen.	.....
Abstract	.....
Agradecimientos	.....
1 Introducción.	..... 3
1.1 Normativa de uso de RPAS.	..... 4
1.1.1 Requisitos que debe cumplir un operador de RPAS	..... 4
1.1.2 Requisitos que deben cumplirse en un vuelo de RPAS.	..... 6
1.2 Fotogrametría digital.	..... 8
2 Objetivos.	..... 9
3 Metodología empleada.	..... 9
3.1 Trabajos previos.	..... 10
3.1.1 Datos de la zona de estudio.	..... 10
3.1.2 Equipos utilizados	..... 12
3.1.3 Software utilizado.	..... 15
3.1.4 Planificación de bases de apoyo terrestres	..... 16
3.1.5 Plan de vuelo.	..... 17
3.2 Trabajo en campo.	..... 20
3.2.1 Colocación de puntos de apoyo terrestres	..... 20
3.2.2 Vuelo RPAS.	..... 21
3.3 Procesado de datos	..... 22
3.3.1 Calibración de la cámara	..... 23
3.3.2 Orientación de imágenes.	..... 24
3.3.3 Obtención de MDE y ortomosáico	..... 26
3.3.4 Mapa de curvas de nivel.	..... 29
4 Productos obtenidos y resultados.	..... 29
4.1 Seguimiento en la evolución de los trabajos	..... 30
4.2 Cálculo de volúmenes	..... 31
5 Conclusiones	..... 32
6 Referencias	..... 34

Índice de Figuras

Figura 1. Mapa del espacio aéreo en España. ENAIRE.....	8
Figura 2. Mapa situación de Ciudad Rodrigo	10
Figura 3. Mapa detalle de zona de estudio	11
Figura 4. Plano topográfico de la obra civil a construir	11
Figura 5. GPS utilizado para referenciar las bases de apoyo terrestre.....	12
Figura 6. RPA ATYges FV-8.....	13
Figura 7. RPA DJI PHANTOM 4 PRO utilizado para la toma de imágenes.....	15
Figura 8. Aerotriangulación digital.....	17
Figura 9. Imagen de ilustración del campo de visión proyectado sobre el terreno y ecuaciones para el cálculo de diversos parámetros de vuelo	18
Figura 10. Colocación de puntos de apoyo terrestre en campo. Vuelo 1	21
Figura 11. Colocación de puntos de apoyo terrestre en campo. Resto de vuelos.....	21
Figura 12. Seguimiento de vuelo. Plan de vuelo 1.....	22
Figura 13. Calibración de la lente	24
Figura 14. Orientación interna	24
Figura 15. Orientación de fotogramas mediante software Photoscan	25
Figura 16. Marcaje de puntos de apoyo terrestre en software Photoscan	26
Figura 17. MDT de estructura vectorial con topografía clásica levantamiento topográfico inicial	27
Figura 18. Clasificación de puntos	27
Figura 19. MDT de estructura ráster mediante fotogrametría. Vuelo 4	28
Figura 20. Principio de la rectificación digital	28
Figura 21. Ortomosáico vuelo 4.....	28
Figura 22. Cálculo de volúmenes a partir de MDT en un área determinada	31

Índice de Tablas

Tabla 1. Cotas de la plataforma	11
Tabla 2. Características del GPS Trimble R6	12
Tabla 3. Características RPA ATYges FV-8	13
Tabla 4. Características de la cámara Sony α5000L.....	13
Tabla 5. Características de la aeronave DJI PHAMTON 4 PRO	14
Tabla 6. Características de la cámara RPAS.....	15
Tabla 7. Características de la emisora en tierra RPAS	15
Tabla 8. Vuelo 1. Parámetros de vuelo	22
Tabla 9. Vuelos 2 a 4. Parámetros de vuelo	22
Tabla 10. Datos de los vuelos	25
Tabla 11. Errores acumulados en referencia de bases de apoyo terrestre	26
Tabla 12. Error medio de los vuelos en la georreferenciación.....	30
Tabla 13. Resolución MDE y Ortomosáicos obtenidos	31
Tabla 14. Cálculo de volúmenes ejecutados en obra	32

1 Introducción.

El trabajo consiste en realizar el seguimiento de la evolución de un trabajo de movimiento de tierras mediante la obtención de productos cartográficos mediante el uso de la técnica de la fotogrametría obteniendo las imágenes mediante el uso de un RPAS. Una vez obtenidos los productos cartográficos utilizarlos para el cálculo de volúmenes de tierras obtenidos y establecer unas conclusiones para el uso de esta técnica como método de seguimiento y también exportar estos datos a otro tipo de software que permita realizar el cálculo de los volúmenes de tierra movidos.

Para la toma de datos se utiliza un multirrotor cuadricóptero pilotado de forma remota, con cámara fotográfica incorporada y con seguimiento de vuelo desde emisora en tierra.

Es interesante el uso de estos sistemas en el ámbito profesional de las infraestructuras eléctricas y su evolución, más si cabe que los sensores cada vez evolucionan más y permiten el uso de sensores como cámaras multiespectrales o termográficas, LiDAR.

Algunas de las ventajas son las siguientes:

- Reducción de costes. Para el mantenimiento de las líneas eléctricas, el uso de estos sistemas tiene un coste menor con respecto al uso de los helicópteros, si bien estos últimos tienen el inconveniente de la autonomía con respecto a los helicópteros.
- Reducción de riesgos. Es una ventaja importante en este tipo de trabajos, ya que los RPAS no van tripulados, y por tanto el riesgo mayor sea la caída de la aeronave, pero sin poner en riesgo la vida de las personas. El acceso a determinados lugares que se encuentran en tensión, o lugares de difícil acceso mediante el uso de RPAS, bien sean aéreos o bien sean terrestres, disminuye el riesgo de accidente en un porcentaje muy elevado, puesto que evita que las personas puedan poner en riesgo su vida.
- Adaptabilidad. Este tipo de vehículos se adaptan a la mayoría de las situaciones y dado que este tipo de obras, a veces, suelen estar en lugares de difícil acceso, es necesario disponer un sistema que se adapte a todas las situaciones posibles. Además, un RPAS se adapta para la colocación del sensor de toma de datos que mejor se adapte a la situación, como por ejemplo LiDAR, cámaras multiespectrales, etc.
- Nivel de precisión elevado. Para detección de cables y distancias entre cables conductores y posibles obstáculos como vegetación, es necesario una precisión elevada en cuanto a nube de puntos y error en la distancia.
- Permite obtener resultados muy fiables en el mantenimiento de las infraestructuras como por ejemplo en la obtención de puntos calientes en una línea eléctrica o fallos en una placa fotovoltaica, de forma que permita desarrollar un correcto mantenimiento, adelantándose a una posible avería del sistema.
- Mejora en el medioambiente, ya que la contaminación tanto acústica, como de emisión de gases es muy inferior al uso de otras plataformas como helicópteros o aviones.
- Su transporte es muy sencillo, puesto que su tamaño es mínimo, pudiéndose transportar a cualquier lugar.

Sin embargo, el uso de estos sistemas hoy en día tiene ciertas desventajas:

- La duración de sus baterías limita en exceso el tiempo de vuelo, debiendo realizar continuamente el cambio de baterías para tomar datos de una superficie extensa, de forma que no sean convenientes para grandes extensiones de terreno.
- Calibración de cámaras. Si el RPA no dispone de cámara incluida, puede ocasionar el desajuste de la cámara cada vez que la cámara sea desacoplada del RPA, y por tanto habrá que calibrar dicha cámara en cada comienzo del vuelo cada vez que esta cámara haya sido desmontada del RPA.
- La legislación actual en España frente al uso de estos sistemas es muy restrictiva y dificulta su uso en el espacio aéreo de España.

1.1 Normativa de uso de RPAS.

En España la norma que rige el uso de los RPAS es el Real Decreto 1036/2017, de 15 de diciembre, por el que se regula la utilización civil de la aeronaves pilotadas por control remoto.

En el presente documento, se explicarán las condiciones necesarias para el vuelo con RPAS utilizado para la toma de datos, esto es el RPA de menos de 25 kg de peso y para el desempeño de una actividad de tipo comercial, que es lo habitual para la actividad de Ingeniería y Arquitectura.

El RPAS debe tener en vigor un certificado de aeronavegabilidad RPA que “será expedido por la Agencia Estatal de Seguridad Aérea (en adelante, AESA) y que abarca a todos los componentes del sistema, esto incluye, aeronave, estaciones de pilotaje remoto y enlaces de mando y control, así como cualquier elemento del sistema que pueda requerirse en cualquier momento durante la operación”, así se manifiesta en el Artículo 11 de la citada norma.

1.1.1 Requisitos que debe cumplir un operador de RPAS

En primer lugar, se analizarán los requisitos actuales que se necesitan para ser operador de RPAS, de acuerdo con la Agencia Estatal de Seguridad Aérea, AESA, órgano competente en esta materia.

Para ello se requiere lo siguiente:

Conocimientos teóricos:

Se pueden demostrar de varias maneras:

Mediante la presentación de una licencia de piloto expedida de acuerdo con la Parte FCL del Reglamento 1178/2011 o el JAR FCL-1 o 2, o licencia de piloto de ULM expedido por la Agencia Estatal de Seguridad Aérea, válidas o que hayan sido válidas hasta un máximo de 5 años antes de su presentación.

Mediante un certificado de haber superado los exámenes de la totalidad de los conocimientos teóricos requeridos para la obtención de una licencia de piloto expedido por un Estado miembro de OACI.

Mediante un certificado de haber superado los exámenes de la totalidad de los conocimientos teóricos requeridos para la obtención de una licencia de piloto, expedido por una Organización de Formación Aprobada (ATO, “Approved Training Organisation”)

aprobada por AESA o por EASA, o en el caso de la licencia de piloto de ultraligero, mediante un certificado individual de APTITUD tras realizar el correspondiente examen oficial de conocimientos teóricos.

En el caso de que los conocimientos teóricos para la obtención de una licencia de piloto se hubiesen obtenido al servicio de las Fuerzas Armadas españolas o de la Guardia Civil, será de aplicación lo dispuesto en las Órdenes PRE/921/2004, de 6 de abril, por la que se regula la valoración de la formación teórica y práctica y la experiencia como piloto adquiridas al servicio de las Fuerzas Armadas españolas para la obtención de los títulos y licencias requeridos a los pilotos de aviones civiles (BOE 9.4.2004) y PRE/2059/2011, de 18 de julio, por la que se regula la valoración de la formación teórica y práctica y la experiencia como piloto adquiridas al servicio de las Fuerzas Armadas españolas o de la Guardia Civil para la obtención de los títulos y licencias requeridos a los pilotos de helicópteros civiles (BOE 22.7.2011).

Si no se puede demostrar por ninguno de los medios anteriores se deberá superar un Curso de formación básica (para vuelos dentro del alcance visual del piloto) o avanzada (para vuelos más allá del alcance visual del piloto).

Los programas de los cursos Básico y Avanzado se han de desarrollar por la ATO de acuerdo con lo que se consideran los conocimientos teóricos mínimos que debe tener un piloto de un RPAS.

En caso de que una ATO deseara subcontratar el desarrollo de estos cursos con otra organización, debería incluir los programas específicos para RPAS en los suyos propios, supervisar y hacerse responsable de los contenidos e incluir a los instructores en su cuadro de instructores específico para RPAS. Igualmente deberían incluir en su propia documentación específica para RPAS las dependencias en que se impartan los cursos, en caso de no ser las propias. En todo caso, deberán cumplir lo establecido en el apartado ORA.GEN.205 del Anexo VII (Parte ORA) del Reglamento 1178/20011 de la Comisión, de 3 de noviembre de 2011.

Conocimientos prácticos

Todo aquel que pretenda pilotar una aeronave pilotada por control remoto deberá realizar el curso de formación práctica requerido en el art. 50.5.e) de la Ley 18/2014, incluyendo a quienes ya sean titulares de una licencia de piloto.

El curso de formación práctica se dirigirá al conocimiento de la aeronave específica que vaya a operar el alumno y su equipo de control.

En el caso de aeronaves de peso máximo al despegue no superior a 25 Kg, el operador, una vez que esté convenientemente habilitado y siempre bajo criterio justificado que deberá documentar por escrito, podrá incluir en su declaración responsable inicial o modificación de esta a pilotos con certificados de conocimientos prácticos en otras aeronaves distintas a las que va a operar, pero similares en cuanto a configuración, peso, sistema de control y actuaciones

¿Quién puede impartir la formación práctica?

El curso de formación práctica puede ser impartido por:

- El fabricante de la aeronave.

- Una organización autorizada por el fabricante, o por el operador habilitado conforme a la normativa para el personal que vaya a incluir en su declaración responsable como sus pilotos, o
- Una organización de formación aprobada (ATO).

A la finalización del curso de formación práctica se realizará un examen de vuelo presencial que incluya como mínimo las maniobras especificadas. Se especificará el tipo y modelo de aeronave para el que se ha recibido el curso. El certificado contará con un pie de firma en el que se indique el nombre y puesto del emisor.

1.1.2 Requisitos que deben cumplirse en un vuelo de RPAS

Como condiciones mínimas de vuelo de RPAS la norma establece para el **piloto** las siguientes condiciones:

- La persona que pilota el RPA, está obligada a la obtención de una licencia de piloto, puesto que se trata de una actividad profesional con un RPA profesional. Esta persona, ha de poseer y acreditar conocimientos de teoría y práctica, y además ha de disponer de un certificado médico de clase LAPL (licencia de piloto para aeronave ligera), si usa un dron de menos de 25 kg de peso. Esta licencia se valida mediante una ATO certificada por AESA.
- El piloto ha de estar dado de alta como operador en AESA o ha de estar incluido como piloto en alguna de las operadoras que trabajan en España.
- Tener un seguro de responsabilidad civil.

Como condicionantes generales de vuelo para un RPA con **uso profesional**, el real decreto determina:

- Ha de llevar una matrícula identificativa, que sea ignífuga y que identifique al menos el nombre del fabricante, el tipo de aeronave, el modelo, el número de serie y el nombre del operador y los datos de contacto de este.

En cuanto a las **condiciones de vuelo**, estas varían en función del lugar, condiciones meteorológicas, tipo de aeronave, hora de vuelo,...

Como **condiciones generales**, y que son válidas también para vuelos sin certificado de aeronavegabilidad destacan:

- La distancia mínima de vuelo con respecto a un aeropuerto o aeródromo es de 8 km. El vuelo ha de estar fuera del espacio aéreo controlado.
- La altura máxima de vuelo con respecto al suelo o sobre el obstáculo más alto situado dentro de un radio de 150 metros desde la aeronave no sobrepasará los 120 metros.
- El vuelo se ha de hacer de día y con buenas condiciones meteorológicas. Para aeronaves con un peso inferior a 2 kilogramos, se permite realizar un vuelo nocturno, siempre y cuando la altura de vuelo sea inferior a 50 metros.
- El piloto siempre tiene que visualizar la aeronave durante la duración del vuelo.
- Los vuelos sobre ciudades y aglomeraciones de edificios y de personas, se permiten, siempre y cuando la aeronave tenga un peso inferior a 250 gramos y la altura de vuelo sea inferior a los 20 metros.

Como **condiciones particulares** de vuelo se describen las siguientes:

- El vuelo en zonas urbanas y de aglomeración de edificios y personas se permite siempre y cuando se cumplan los siguientes condicionantes:
 - ✓ La masa máxima de la aeronave durante la fase de despegue ha de ser inferior a 10 kilogramos.
 - ✓ La aeronave ha de estar dentro del alcance visual del piloto.
 - ✓ La zona de vuelo habrá de permanecer restringida en paso y perfectamente delimitada por la autoridad competente, o en su ausencia, permanecer a una distancia mínima horizontal de 50 metros a edificios, estructuras o personas ajenas al vuelo.
 - ✓ La aeronave deberá de tener instalado un sistema de limitación de energía del impacto (paracaídas, airbag...).
 - ✓ Se realizará un estudio de seguridad aeronáutica y este habrá de estar autorizado por AESA.
- El vuelo nocturno se permite siempre y cuando se cumplan los siguientes requisitos.
 - ✓ Se realizará un estudio de seguridad aeronáutica específico y este habrá de estar autorizado por AESA.
 - ✓ La aeronave deberá tener incorporado un sistema de visibilidad mediante dispositivos como luces, pintura, etc.
- El vuelo realizado dentro del alcance visual aumentado (EVLOS, “Extended Visual Line of Sight”) se permite siempre y cuando existan personas u observadores intermedios que garanticen la visión de la aeronave en todo el proceso del vuelo, y además estos operadores intermedios se encuentren en continua comunicación con el piloto mediante radio. Además, los observadores intermedios han de estar acreditados en los conocimientos teóricos de un piloto remoto de aeronave.
- El vuelo realizado fuera del alcance visual del piloto (BVLOS, “Beyond Visual Line of Sight”) se permite con los siguientes requisitos:
 - ✓ El peso máximo de la aeronave en el momento del despegue ha de ser inferior a 2 kilogramos.
 - ✓ La aeronave ha de contar con sistemas que permitan detectar y evitar a otros usuarios del espacio aéreo y además han de estar aprobados por AESA.
 - ✓ La aeronave ha de tener instalado un dispositivo de visión orientado hacia delante.
 - ✓ Se realizará un estudio de seguridad aeronáutica y este habrá de estar autorizado por AESA.

Por otro lado, se ha de tener en cuenta el espacio aéreo español, gestionado por ENAIRE, mediante el cual se dispone de un mapa del espacio aéreo de España con los diferentes espacios aéreos y sus restricciones de vuelo, que indicará las restricciones de vuelo de cada espacio aéreo de España.

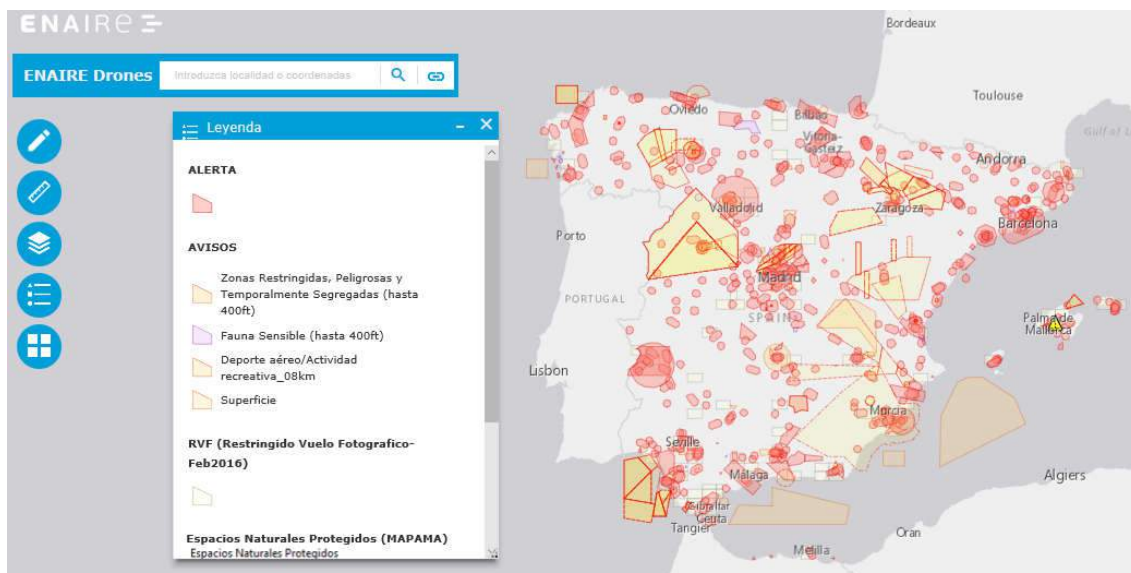


Figura 1. Mapa del espacio aéreo en España. ENAIRE

1.2 Fotogrametría digital.

Se puede definir la fotogrametría como aquella técnica que calcula la dimensión y posición de un objeto determinado en el espacio, tomando como datos los aportados por las imágenes.

La técnica empleada es la misma que la empleada en la fotogrametría analítica, aunque la toma de imágenes ha variado con la evolución de las plataformas aéreas, pasando de usar aviones hasta la época actual en la que es habitual el uso de RPAS, ya que permiten una mayor funcionalidad y seguridad y un menor coste económico.

También se ha de tener en cuenta la evolución que han sufrido las cámaras fotográficas, pasando de cámaras analógicas a cámaras digitales. Este tipo de cámaras transmiten directamente las imágenes digital al ordenador, que mediante un determinado software informático se puede realizar todo el proceso fotogramétrico a través de un ordenador.

La fotogrametría digital permite multitud de mejoras y simplificación en el procesado, puesto que facilita, por ejemplo, la restitución de las imágenes o bien permite además te permite exportar esos resultados en diversos formatos bien de forma vectorial o bien de forma ráster.

Aun así, los pasos a seguir en la fotogrametría son los siguientes:

- Plan de vuelo.
- Toma de puntos de apoyo terrestres georreferenciados.
- Vuelo con RPAS y toma de imágenes.
- Procesado de imágenes y obtención de productos.
 - ✓ Orientación de imágenes.
 - ✓ Obtención de modelo digital de elevaciones (MDE) y ortofotos.

✓ Mapa de curvas de nivel.

Para este trabajo se pretende demostrar que el seguimiento del avance y control de una obra de movimiento de tierras mediante el uso de la técnica de fotogrametría con RPAS es válida y para ello se establecen los requisitos mínimos solicitados en este tipo de trabajos:

- Vuelo con un solapamiento mínimo 80/65 (una superposición longitudinal del 80% y una superposición transversal del 65%).
- Uso de puntos control para garantizar los niveles de precisión indicados.

Requisitos en los documentos entregables:

- Una precisión mínima de ± 6 cm en la georreferenciación del modelo.
- Una resolución del MDE de menos de 15 cm.
- GSD o resolución espacial (con respecto al terreno) máximo de 5 cm.
- Plano de curvas de nivel.
- Ortofotografía. Fichero GeoTIFF con la ortofoto georreferenciada.
- Informes de procesado de imágenes.
- Cálculo de volúmenes.

2 Objetivos.

En el presente documento se pretende conseguir varios objetivos.

El primer objetivo es la confirmación de que la aplicación de la fotogrametría mediante el uso de RPAS es un método válido para realizar el seguimiento de la fase constructiva de un proyecto de ingeniería civil consistente en el movimiento de tierras de una SE.

El segundo objetivo es la obtención de productos para poder realizar el cálculo de volúmenes y poder realizar una gestión adecuada de la obra en cuestión.

3 Metodología empleada.

La metodología empleada para este trabajo se basa principalmente en dos fases.

- Trabajos previos. En este tipo de trabajo, el alumno realiza los trabajos preliminares necesarios para la toma de datos necesarios para el desarrollo de los trabajos, esto es, estudio de la zona de trabajo, elección de equipos, softwares y medios a emplear, la planificación de la colocación de los puntos de control terrestres y planificación del vuelo.
- Trabajos de campo. En esta fase, se colocan los puntos de control terrestres, mediante el uso de GPS, así como la realización de los vuelos de RPAS para la toma de imágenes.
- Trabajo de gabinete. Durante esta fase de trabajo, se realiza todo el procesado de las imágenes obtenidas y la obtención de los diversos documentos necesarios para el seguimiento evolutivo de los trabajos.

3.1 Trabajos previos.

3.1.1 Datos de la zona de estudio.

El seguimiento constructivo del movimiento de tierras está localizado en el término municipal de Ciudad Rodrigo (Salamanca). Este movimiento de tierras forma parte de una plataforma que albergará una futura subestación eléctrica y su camino de acceso.

Esta futura subestación está diseñada para la alimentación eléctrica a 25kV a la totalidad de la línea ferroviaria actual (LFA) Medina del Campo-Salamanca-Fuentes de Oñoro (que enlaza León con Portugal).



Figura 2. Mapa situación de Ciudad Rodrigo

La subestación quedará situada en el término municipal de Ciudad Rodrigo y se accede a través de la carretera SA-324 en el km 4, dirección Saelices el Chico al noroeste de Ciudad Rodrigo.

Se trata de una plataforma que dispondrá de una superficie aproximada en planta de 30.000 m² ejecutada en dos cotas diferentes con una diferencia de cota entre ambas partes de 1 m.

El camino de acceso tendrá una longitud aproximada de 1.200 m y un ancho medio de 6 m y enlaza un camino existente con la nueva subestación.

La zona de estudio comprende una zona de pastos sin vegetación alta y sin grandes desniveles, con buena visibilidad y sin obstáculos como líneas, edificios, que puedan dificultar la toma de imágenes desde el RPAS, además se comprueba que el espacio aéreo de la zona está fuera de algún área de especial protección o prohibición para este tipo de vuelo. Esta zona se encuentra en el límite de una zona de protección para aves.

Esto implica que sea una zona idónea para el uso de la fotogrametría.

La ubicación de la plataforma y el camino a construir pertenecen a un proyecto de ingeniería civil, y por tanto se dispone de las coordenadas de la plataforma a construir, así como de la traza del camino de acceso, tanto en planimetría como en altimetría.



Figura 3. Mapa detalle de zona de estudio

Las cotas de la plataforma se presentan en la tabla 1.

Plataforma	Plataforma 1	Plataforma 2
Cota NTE (m)	683,5	684,5

Tabla 1. Cotas de la plataforma

Los planos del proyecto están definidos y redactados, se han realizado usando topografía clásica, mediante estación total y GPS, de tal forma que el diseño de la plataforma y del camino ya están definidos. Estos trabajos no están contemplados en el estudio de esta memoria.

En el Anexo II se puede observar el plano topográfico del proyecto en cuestión.

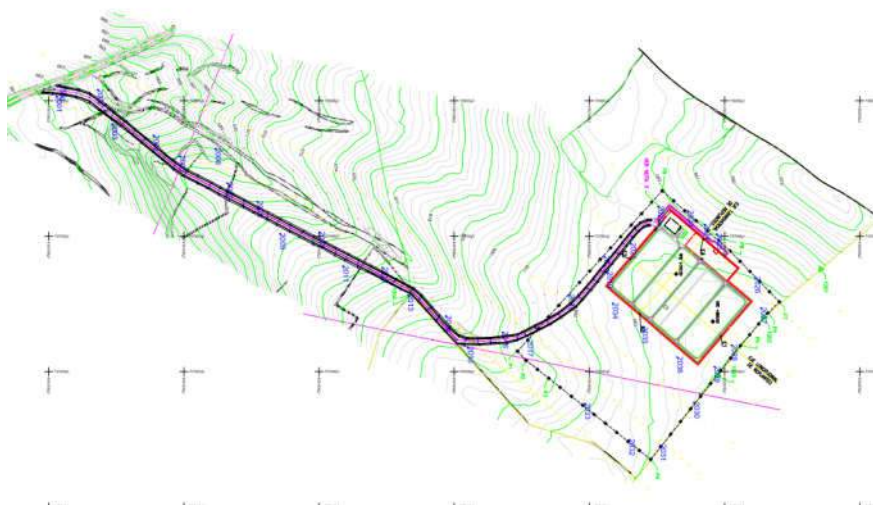


Figura 4. Plano topográfico de la obra civil a construir

3.1.2 Equipos utilizados

3.1.2.1 GPS

Para georreferenciar correctamente las imágenes tomadas durante el vuelo, se hace necesario disponer de varios denominados “puntos de apoyo” o puntos de control terrestre.

Para ello se usa un equipo GPS, de la casa Trimble, modelo R6 con modem. Este equipo se conecta a través de internet a una red de estaciones fijas pertenecientes a la Red GNSS del Instituto Nacional Geográfico (IGN), de forma que el GPS recibe las correcciones en tiempo real de la información recibida de los satélites.

El equipo, una vez conectado a la red GNSS está preparado para ofrecer en tiempo real las coordenadas de cada punto con una precisión de 1 o 2 cm.

Las características más importantes del equipo se muestran en la tabla 2.

Posicionamiento GPS diferencial de código

Horizontal	$\pm 0,25 \text{ m} + 1 \text{ ppm RMS}$
Vertical	$\pm 0,50 \text{ m} + 1 \text{ ppm RMS}$
Precisión de posicionamiento diferencial WAAS,	menos de 5 m 3DRMS
Levantamientos GNSS Static y FastStatic	
Horizontal	$\pm 5 \text{ mm} + 0,5 \text{ ppm RMS}$
Vertical	$\pm 5 \text{ mm} + 1 \text{ ppm RMS}$
Levantamientos cinemáticos	
Horizontal	$\pm 10 \text{ mm} + 1 \text{ ppm RMS}$
Vertical	$\pm 20 \text{ mm} + 1 \text{ ppm RMS}$
Tiempo de inicialización	<25 segundos
Fiabilidad de la inicialización	>99,9%

Tabla 2. Características del GPS Trimble R6



Figura 5. GPS utilizado para referenciar las bases de apoyo terrestre

3.1.2.2 RPAS

Se han utilizado dos RPAS diferentes.

Para el primer vuelo se ha empleado un RPAS de la empresa ATYGES, concretamente un cuadricóptero denominado ATyges FV-8.

En la tabla 3 se muestran las características más relevantes del sistema.

Aeronave:

Peso	3.500 gr
Dimensiones	800 x 800 x 450 mm
Hélices	15"
Autonomía máxima	30 minutos
Modos de vuelo	Automático / Asistido
Sistemas de navegación	GPS L1 / INS / GPS L1L2 RTK
Peso máximo al despegue	7.000 gr
Carga de pago intercambiable	Si / 1.500 gr
Motorización	6 x Brushless
Baterías	6S LiPo
Comunicaciones	2,4 GHz / 5,8 GHz
Material	Fibra de carbono
Transporte	Transportín maleta

Tabla 3. Características RPA ATYGes FV-8



Figura 6. RPA ATYGes FV-8

Cámara:

Este sistema incorpora una cámara Sony ALPHA5000L que se adosa a la aeronave.

Las características más significativas de esta cámara se detallan en la tabla 4.

Sensor	Tipo APS-C (23,2 x 15,4 mm) Píxeles efectivos: 19.8M
Objetivo	16 / 50 mm (formato equivalente a 24-75 mm) f/3.5 - f/5.6, (mínima: f/22-36)
Rango ISO	100-16000 pasos de 1 EV auto 100-3200
Velocidad obturador	1/4000 a 30seg. + bulb X-Sync 1/160 seg.
Foto	JPEG, RAW, JPEG + RAW
Vídeo	AVCHD / MP4, con audio AC3/AAC
Altura del sensor (mm)	15.4
Anchura del sensor (mm)	23.2
Distancia focal (mm)	16 mm
Tamaño pixel (m)	L: 5.456 X 3.632 (20 M), M: 3872 x 2576 (10 M), P: 2736 x 1824 (5,0 M)

Tabla 4. Características de la cámara Sony α5000L

Para el resto de los vuelos, se ha empleado como RPAS para la toma de imágenes, una aeronave de la casa comercial DJI, y el modelo utilizado concretamente es un PHANTOM 4 PRO, compuesto por la aeronave y por la estación monitorea terrestre.

El RPA es un cuadricóptero que tiene incorporada una cámara. Este tipo de aeronaves son muy interesantes para su uso en trabajos de fotogrametría en superficies no muy extensas, donde sus características lo hacen más sencillo de manejar y con suficiente autonomía para la toma de imágenes mediante un vuelo.

Las características más relevantes del sistema se detallan en la tabla 5.

Aeronave:

Peso (batería y hélices incluidas)	1 388 g
Tamaño diagonal (sin hélices)	350 mm
Velocidad de ascenso máx.	Modo-S: 6 m/s (19.7 ft/s) Modo-P: 5 m/s (16.4 ft/s)
Velocidad de descenso máx.	Modo-S: 4 m/s (13.1 ft/s) modo-P: 3 m/s (9.8 ft/s)
Velocidad máx.	72 km/h (45 mph) (modo-S) 58 km/h (36 mph) (modo-A) 50 km/h (31 mph) (modo-P)
Ángulo de inclinación máx.	42° (Modo-S) 35° (Modo-A) 25° (Modo-P)
Velocidad angular máx.	250°/s (Modo-S) 150°/s (Modo-A)
Altura máx. de servicio sobre el nivel del mar	6 000 m (19 685 pies)
Resistencia al viento máx.	10 m/s
Tiempo de vuelo máx.	30 minutos aprox.
Rango de temperatura de funcionamiento	De 0 a 40 °C (de 32 a 104 °F)
Sistemas de posicionamiento por satélite	GPS / GLONASS
Rango de precisión de vuelo estacionario	Vertical: ±0,1 m (con posicionamiento visual) ±0,5 m (con posicionamiento por GPS) Horizontal: ±0,3 m (con posicionamiento visual) ±1,5 m (con posicionamiento por GPS)

Tabla 5. Características de la aeronave DJI PHANTOM 4 PRO

Cámara

Sensor	1" CMOS Píxeles efectivos: 20M
Objetivo	FOV 84° 8.8 mm / 24 mm (formato equivalente a 35 mm) f/2.8 - f/11, enfoque a 1 m - ∞
Rango ISO	Vídeo: 100 - 3200 (Automático) 100 - 6400 (Manual) Foto: 100 - 3200 (Automático) 100- 12800 (Manual)
Velocidad obturador mecánico	8 - 1/2000 s
Velocidad obturador electrónico	8 - 1/8000 s
Tasa de Bits Máx. de Almacenamiento de Vídeo	100 Mbps
Sistemas de archivo compatibles	FAT32 (≤32 GB); exFAT (>32 GB)
Foto	JPEG, DNG (RAW), JPEG + DNG
Vídeo	MP4/MOV (AVC/H.264; HEVC/H.265)

Altura del sensor (mm / px)	8.76 / 3648
Anchura del sensor (mm / px)	13.13 / 5472
Distancia focal (mm)	8.8
Tamaño pixel (m)	2.4004E-06

Tabla 6. Características de la cámara RPAS

Emisora en tierra:

Frecuencia de funcionamiento	2.400 - 2.483 GHz y 5.725 - 5.825 GHz
Distancia de transmisión máx.	Conformidad con FCC: 7 km (4,6 mi); conforme con CE: 3,5 km (2,2 mi) (sin obstáculos, libre de interferencias)
Potencia de transmisión (PIRE)	2.400 GHz - 2.483 GHz FCC: 23 dBm; CE: 17 dBm 5.725 GHz - 5.825 GHz FCC: 30 dBm; CE: 14 dBm
Soporte de dispositivos móviles	GL300E: tabletas y teléfonos inteligentes GL300F: Pantalla de 5,5 pulg., 1920×1080, 1000 cd/m2 Sistema Android, 4 GB RAM + 16 GB ROM

Tabla 7. Características de la emisora en tierra RPAS



Figura 7. RPA DJI PHANTOM 4 PRO utilizado para la toma de imágenes

3.1.3 Software utilizado.

Para el desarrollo del presente documento, el alumno ha empleado el siguiente software:

Procesado de imágenes.

Photoscan, de la casa comercial Agisoft. Se trata de un software para procesar imágenes mediante la técnica de fotogrametría, obteniendo como productos, datos espaciales en tres dimensiones (3D), de forma que se pueden obtener modelos 3D que pueden ser usados en diferentes aplicaciones como AutoCAD, o en Sistemas de Información Geográfica (SIG), o pueden documentarse, o multitud de aplicaciones de modelado o producción de efectos visuales.

Generación de archivos para planificación de vuelo, Generación de curvas de nivel, cálculo de volúmenes e impresión de planos.

Global Mapper. Se trata de una aplicación para la gestión y procesado de datos espaciales. Es un software versátil que puede complementarse con los SIG para el procesado, análisis y gestión de cualquier dato espacial.

Impresión de planos.

AutoCAD. Se trata de un software de diseño asistido por ordenador. Permite realizar diseños de dibujos en dos y tres dimensiones (2D y 3D). Generalmente es usado para dibujar y editar geometrías en 2D y generar modelos en 3D. Dispone multitud de extensiones personalizadas para aplicar en campos como la arquitectura, el diseño gráfico, etc.

Además, se han utilizado otros softwares para generación de productos, por parte de las empresas colaboradoras.

Planificación de vuelo RPAS.

Se ha utilizado por parte de la empresa INCOSA la aplicación **FV8 – Microkopter Tools**. Se trata de una aplicación específica de la empresa “ATyges” para realizar el plan de vuelo del RPAS ATyges FV-8 y tomar las imágenes correspondientes al vuelo 1.

Se ha utilizado por parte de la empresa ARGUSTEC, la aplicación **Map Pilot**. Se trata de una aplicación de la casa comercial “Drones Made Easy” para realizar el plan de vuelo del RPAS DJI PHANTOM 4 PRO y tomar las imágenes correspondientes a los vuelos 2, 3 y 4.

Levantamiento topográfico del terreno con GPS.

Se ha utilizado por parte de la empresa INCOSA el software **Protopo**. Se trata de un software para su uso en topografía y que es empleado bajo programas tipo cad como AutoCAD.

3.1.4 Planificación de bases de apoyo terrestres

Para dar apoyo y obtener una orientación externa entre imágenes de vuelo y poder geolocalizarlas adecuadamente con el mínimo error, se dispone la colocación de puntos de apoyo terrestre. Las coordenadas de dichos puntos se ofrecen en el sistema de coordenadas ETRS89 huso 29 con referencia ortométrica.

La metodología para la colocación de estos puntos de apoyo es la siguiente:

Previo a colocar los puntos de apoyo en campo, se planifica la colocación del número suficiente de puntos de apoyo para poder realizar una correcta aerotriangulación.

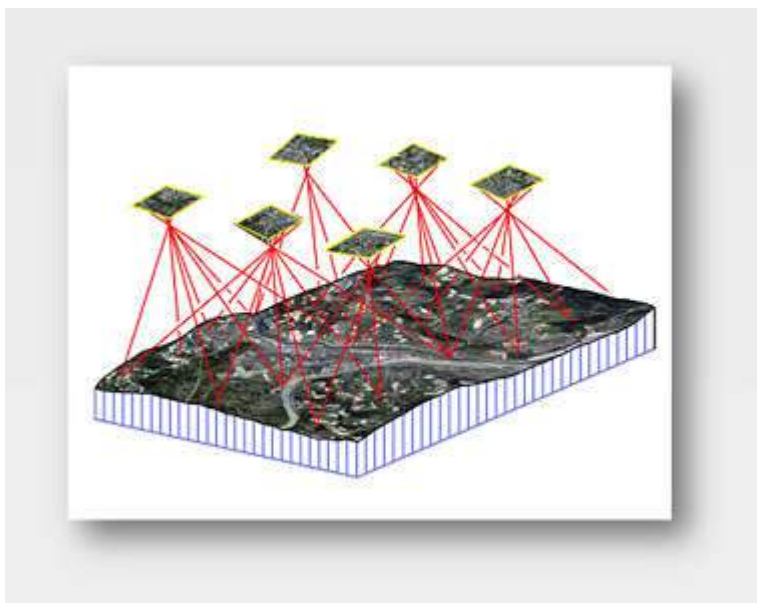


Figura 8. Aerotriangulación digital

También se tiene en cuenta la correcta visibilidad de los puntos desde la aeronave durante la fase de vuelo.

Por último, se tiene en cuenta que cada punto de apoyo terrestre sea visto por al menos 3 imágenes para una correcta triangulación.

Para el primer vuelo se disponen 35 puntos de apoyo terrestre que serán utilizados para este vuelo, para el resto de los vuelos, se disponen de 36 puntos de apoyo terrestre fijos. Todos ellos son georreferenciados mediante el uso del GPS para una correcta triangulación. Las coordenadas de los puntos de apoyo terrestres se referencian en ETRS89 huso 29.

En el Anexo II del presente documento se dispone el plano de puntos de apoyo terrestre en el que se refleja la situación y las coordenadas de los puntos de apoyo terrestre.

3.1.5 Plan de vuelo.

Previo a la toma de imágenes, se ha de proceder a la planificación del vuelo o vuelos, que estará condicionado por el resultado que queramos obtener.

La zona de estudio, como se ha indicado anteriormente en el presente documento, es una zona con pocos desniveles, sin apenas servicios y sin vegetación, lo cual facilita la planificación.

En el presente estudio, se han realizado 4 vuelos:

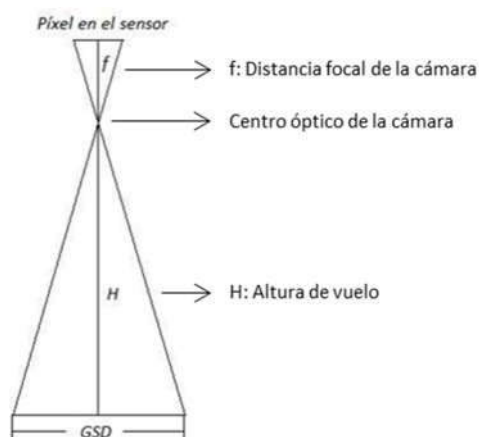
- Vuelo 1 o inicial. Zona de estudio completa, Se realizan dos vuelos, uno para la zona de la plataforma y otro para la zona del camino de acceso. La totalidad de superficie de vuelo es de 0,43 km² aproximadamente.
- Vuelo 2. Un vuelo. Zona de plataforma. La totalidad de superficie de vuelo es de 0,11 km² aproximadamente.

- Vuelo 3. Un vuelo. Zona de plataforma. La totalidad de superficie de vuelo es de 0,11 km² aproximadamente.
- Vuelo 4. Zona de estudio completa. Se realizan dos vuelos, uno para la zona de la plataforma y otro para la zona del camino de acceso. La totalidad de superficie de vuelo es de 0,27 km² aproximadamente.

La elaboración del plan de vuelo es realizada en función de la resolución que se pretenda obtener (o la escala), de la ubicación de la zona a representar, de la orografía y de la previsión meteorológica.

Parámetros geométricos de la planificación:

- Solapamientos longitudinal y transversal: Los solapamientos longitudinal y transversal son dos de los parámetros fundamentales del vuelo fotogramétrico. El objeto de los solapamientos fotográficos es el de poder aplicar el principio de la visión estereoscópica a los fotogramas aéreos. La parte común entre dos fotografías consecutivas es el modelo estereoscópico, debiendo poder enlazarse estos modelos tanto longitudinal como transversalmente. En el caso que nos aplica, se ha considerado un solapamiento longitudinal del 80% y un solapamiento transversal del 65%, lo que nos facilita un buen resultado.
- GSD: Del inglés *Ground Sample Distance*, o distancia de muestreo en el terreno. En una foto digital del terreno hecha desde el aire, se trata de la distancia medida entre centros de los píxeles en el terreno. Dicho de otra forma, si se considera una imagen con un GSD de un metro, un píxel de la imagen se corresponde con una superficie de 1m² (1mx1m) en el terreno. En fotogrametría también se habla del GSD como el campo de vista instantáneo proyectado sobre el terreno (GIFOV del inglés *Ground Instant Field Of View*).



$$GSD = \frac{H \times \text{tamaño pixel del sensor}}{f} \quad (1)$$

$$\text{Escala de vuelo (E)} = 1 / \left(\frac{f}{H} \right) \quad (2)$$

Figura 9. Imagen de ilustración del campo de visión proyectado sobre el terreno y ecuaciones para el cálculo de diversos parámetros de vuelo

Para la totalidad de los vuelos realizados se ha optado por una altura de 90 m, que nos supone un **GSD medio** aproximado de **2,45 cm/píxel** y una **escala de vuelo** aproximada de **10.227,27**; lo cual va a permitir obtener planos de curvado con suficiente resolución para un curvado de **0,25 m o 0,5 m**.

Otros parámetros para tener en cuenta de cara a la planificación de los vuelos se detallan a continuación:

- Ancho de la imagen sobre el terreno (m). Se define como la superficie de terreno que capta una imagen en el lado de la imagen de mayor longitud en el sentido del vuelo.

$$\text{Ancho imagen (m)} = \text{Ancho sensor} \times E \quad (3)$$

- Altura de la imagen sobre el terreno (m). Se define como la superficie de terreno que capta una imagen en el lado de la imagen de menor longitud en el sentido del vuelo.

$$\text{Alto imagen (m)} = \text{Alto sensor} \times E \quad (4)$$

- Base aérea (m). Se define como la distancia en el sentido de avance entre cada imagen obtenida para un determinado solape entre ellas. Para un RPAS, se tomará el ancho de la imagen (lateral de mayor longitud de la imagen).

$$\text{Base aérea (m)} = \text{Ancho de imagen} \times (1 - \text{Solape longitudinal}) \quad (5)$$

- Distancia entre pasadas (m). Se define como la distancia entre dos pasadas distintas de vuelo.

$$\text{Dist. entre pasadas (m)} = \text{Alto de imagen} \times (1 - \text{Solape longitudinal}) \quad (6)$$

- Tiempo entre fotos (s) y velocidad de vuelo (m/s) (m).

$$T \text{ entre fotos (s)} = \text{Base aérea} / \text{Velocidad de vuelo} \quad (7)$$

$$\text{Velocidad de vuelo (m/s)} = \text{Base aérea} / T \text{ entre fotos} \quad (8)$$

- Número de pasadas.

$$N^{\circ} \text{ pasadas} = \text{Ancho de parcela} / \text{Dist. entre parcelas} \quad (9)$$

- Número de fotos por pasada

$$N^{\circ} \text{ de fotos por pasada} = (\text{Largo de pasada} / \text{Base aérea}) + 1 \quad (10)$$

- Distancia de vuelo (m)

$$\text{Distancia de vuelo (m)} = (N^{\circ} \text{ de pasadas} \times \text{Largo de la parcela}) + \text{Ancho de la parcela} \quad (11)$$

- Duración del vuelo (min).

$$T \text{ vuelo (min)} = (N^{\circ} \text{ de fotos por vuelo} \times T \text{ entre fotos}) / 60 \quad (12)$$

Para la totalidad de los vuelos, se opta por emplear valores iguales en los parámetros de altura de vuelo y de recubrimiento de imágenes iguales, de esta forma los resultados en cuanto a escala serán idénticos para todos los vuelos.

También se ha de tener en cuenta la altura del sol sobre el horizonte, esta altura ha de ser mayor de 35°. Para estos vuelos se opta por volar en horas centrales del día de forma que esto sea cumplido.

La velocidad de vuelo, también se va a mantener constante en la totalidad de los vuelos.

En base a estos parámetros, y conociendo los datos tanto de la cámara como del dron y conociendo la superficie a volar podemos establecer los siguientes parámetros de vuelo.

Para la totalidad de los vuelos realizados se va a establecer la misma metodología y parámetros:

Altura de vuelo: 90 m

Solape longitudinal / transversal : 80 / 65

Velocidad de vuelo: 7 m/s

Para realizar los vuelos, se emplean varios softwares. Partiendo del plano parcelario del proyecto constructivo, y mediante softwares como Global Mapper para transformar el documento dwg en formatos compatibles con el RPA, se introduce la superficie de vuelo en el RPAS, y el propio software calcula el tipo de vuelo a realizar.

Para planificar el primer vuelo se utiliza el software planificador de vuelos específico FV8 – Mikrokopter Tools, para el resto de los vuelos, se empleará el software “Map Pilot”.

La planificación de los vuelos y la toma de imágenes no ha sido realizada por el alumno, si bien el alumno ha definido los parámetros de vuelo a realizar.

3.2 Trabajo en campo

3.2.1 Colocación de puntos de apoyo terrestres

Para el primer vuelo, dado que no se había dado comienzo a la actividad de ejecución de movimiento de tierras, se opta por colocar dianas de tela de color negro - naranja, cuya georreferenciación se realiza utilizando el GPS.

Para el resto de los vuelos, el objeto es marcar en campo los puntos de apoyo en el terreno con una barra de acero corrugado, posteriormente se construye una base fija, hormigonando los alrededores de dicha barra. El topógrafo toma coordenadas de la cabeza de la barra que será la que se disponga como los diferentes puntos de apoyo, y estos quedan fijados para su uso la totalidad de los vuelos. Para que su visión desde el RPA no ofrezca dudas, previo a cada uno de los vuelos se les pinta con aerosol de color perfectamente visible un aspa.

Los puntos de apoyo terrestre son colocados por la empresa INCOSA.

En el Anexo II del presente documento se pueden ver el plano de las coordenadas y situación de los puntos de apoyo terrestres.

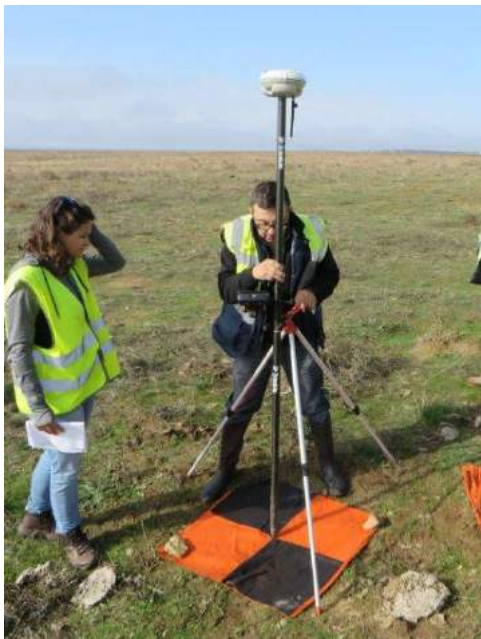


Figura 10. Colocación de puntos de apoyo terrestre en campo. Vuelo 1



Figura 11. Colocación de puntos de apoyo terrestre en campo. Resto de vuelos

3.2.2 Vuelo RPAS.

Una vez se ha realizado el plan de vuelo y se han ubicado los puntos de control terrestres se procede a cargar la lista de *waypoints* en la memoria interna del autopiloto del RPA para luego ejecutar la misión de vuelo de forma automática.

Se programa un plan de vuelo mediante *waypoints* con la ayuda de un software de planificación de misiones, el cual permite programar una ruta de vuelo que se ejecuta de forma autónoma.

Para este trabajo, como se ha citado anteriormente en este documento, se emplean varios softwares.

Simultáneamente a la fase anterior, se realizan las fotos. Según el plan de vuelo planificado por *waypoints*, se ejecutará la ruta donde se realizará una fotografía en cada punto programado, podremos visualizar en una Tablet incorporada en la emisora, en tiempo real toda la información de telemetría, estado del aparato y posición de este mediante GPS.

Primer vuelo:

Noviembre 2018.

Se emplea el software. FV8 – Microkopter Tools de la empresa ATYges, bajo el sistema operativo Android.

El vuelo es realizado por la empresa INCOSA.

Se realizan dos vuelos, uno para la toma de imágenes en la superficie donde se ubicará la plataforma y otro vuelo para la toma de imágenes de la zona donde se va a construir el camino de acceso. Ese mismo día, se realiza un levantamiento topográfico mediante GPS, y se colocan los puntos de apoyo terrestres.

	Vuelo Plataforma	Vuelo camino
Velocidad (m/s)	7	
Altura (m)	90	
Rumbo (°)	222	203 -221
Disparo	Cada 15 metros	
Distancia recorrida (m)	3323	2184
Tiempo de vuelo (minutos)	7:52	7:52
Nº de imágenes	180	125

Tabla 8. Vuelo 1. Parámetros de vuelo



Figura 12. Seguimiento de vuelo. Plan de vuelo 1.

Resto de vuelos:

Se emplea el comercial “Map Pilot for DJI” que funciona bajo el sistema operativo IOS.

Todos los vuelos son realizados por la empresa ARGUSTEC.

Segundo vuelo: febrero de 2019.

Tercer vuelo: abril de 2019.

Cuarto vuelo: mayo de 2019.

Para los vuelos 2 y 3 se realiza un solo vuelo, para la toma de imágenes de la superficie de la plataforma.

Para el vuelo 4, se realizan dos vuelos, uno para la toma de imágenes de la plataforma y otro para la toma de imágenes de la superficie del camino.

	Vuelo 2 plataforma	Vuelo 3 plataforma	Vuelo 4 plataforma	Vuelo 4 camino
Velocidad (m/s)	7	7	7	6
Altura (m)	90			
Distancia recorrida (m)	3.323	2.184	4.410	3.530
Tiempo de vuelo (minutos)	12:02	12:02	12:02	11:15
Área (Has)	13,93	13,93	13,93	1,03
Resolución (cm/pix)	3,9	3,9	3,9	3.99
Nº de imágenes	156	156	156	95

Tabla 9. Vuelos 2 a 4. Parámetros de vuelo

Debido al avance de los trabajos en obra, ni la plataforma ni el camino quedan finalizados definitivamente, quedando pendiente trabajos de obras de drenaje transversal, adecuación de cotas de rasante del camino, recorte y adecuación de taludes, si bien, de cara al objetivo del presente documento, los datos obtenidos permitirán obtener los productos requeridos.

3.3 Procesado de datos

Es necesario realizar un procesamiento de dichas imágenes para completar el proceso de fotogrametría. De esta fase se obtendrán los productos fotogramétricos requeridos:

- Modelos digitales del terreno
- Ortofotografías

El software fotogramétrico es un paquete especializado en el procesamiento de imágenes, en el caso de los RPAS, la mayor parte cuentan con paquetes de programas que permiten realizar las orientaciones de la imagen prácticamente de forma automática. Estos programas se pueden utilizar además para procesar las fotografías tomadas usando otro tipo de vehículo aéreo como cometas, globos, etc.

En el mercado existe una gran variedad de soluciones software, tanto propietarias como de código abierto y, en la medida en que el auge de los RPAS aumenta, van apareciendo nuevas propuestas.

La mayoría de los paquetes software disponibles siguen la secuencia siguiente para realizar el procesamiento de las imágenes:

- Encontrar los puntos de unión entre las imágenes.
- Calcular la orientación interna de la cámara.
- Ajustar las imágenes mediante la identificación de todos los puntos de control.
- Generar un ortomosaico con el fin de definir el área de interés.
- Reconstrucción densa de las imágenes.
- Generación de una malla sobre la nube de puntos densa.
- Generación de las ortofotos, el ortomosaico final y la nube de puntos.

La elección de un paquete software de procesamiento depende del presupuesto del proyecto, la potencia de procesamiento disponible, y de los resultados que se desean alcanzar. Para el procesado de datos, existen multitud de softwares que realizan todo el proceso de forma automática, si bien se puede realizar el procesado de forma manual siguiendo las fases establecidas por la fotogrametría.

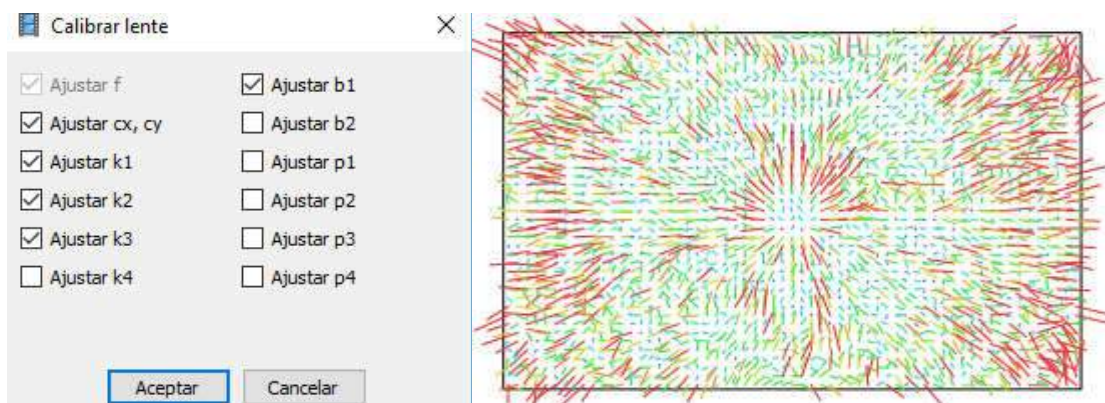
Para este trabajo se elige el software denominado Photoscan de la casa comercial Agisoft. Se trata de un software muy intuitivo y de fácil uso que te permite obtener el procesado de imágenes de forma rápida y concisa.

3.3.1 Calibración de la cámara

El primer paso que realizar, es la calibración de la cámara fotográfica. En el caso que nos aplica se trata de una cámara propia del RPA que no se puede retirar de la aeronave, y que el software detecta automáticamente la cámara con la cual se han tomado las imágenes.

En caso de que el software no detectase la cámara, habría que incluir el modelo y todos sus parámetros una vez calibrada.

En este documento se realiza el ajuste automático de la lente.

*Figura 13. Calibración de la lente*

Los resultados finales de la calibración de cada uno de los vuelos pueden observarse en el Anexo I del presente documento.

3.3.2 Orientación de imágenes.

Este proceso tiene a su vez dos procesos:

Orientación interna

Mediante este proceso, se reconstruye la forma del haz de forma perspectiva, esto es, se reconstruye la cámara con la cual se ha tomado la imagen, dando coordenadas a las imágenes.

*Figura 14. Orientación interna*

Orientación externa

A través de este proceso, se reconstruyen la posición y orientación del haz perspectivo con respecto al objeto. De esta forma, los haces perspectivos primero se orientan entre sí y posteriormente se orientan hacia el objeto.

Dentro de este proceso se incluye.

- Orientación relativa

En dos fotogramas consecutivos los rayos homólogos de los haces se cortan dos a dos.

El software permite crear el objeto de forma tridimensional, aplicando puntos relativos a los fotogramas y las une entre sí, de esta forma crea un bloque con las fotografías.

El software elegido permite realizar la totalidad de la orientación de forma automática, aunque previamente en cada uno de los vuelos, exceptuando el primer vuelo, se ha optado por eliminar aquellas imágenes en las cuales no aportaban información de la zona de obras, esto es, se eliminan aquellas imágenes que quedan fuera de la zona de construcción de la zona de la plataforma y camino de acceso, puesto que la plataforma tiene una superficie aproximada de 2,7 Has y el vuelo de la plataforma cubre una

superficie de 11,3 Has. El motivo de volar una superficie mayor a la necesaria es debido a que en el vuelo inicial se ha volado la totalidad de superficie para tener los datos por si hubiese algún tipo de modificación del proyecto y porque esa superficie anexa a la construcción se emplea para acopio de materiales y actividades auxiliares a la construcción del proyecto. Estas imágenes son necesarias para el control de otro tipo de actividades que no son actuación en este documento.



Figura 15. Orientación de fotografías mediante software Photoscan

En la tabla 10 se presentan los datos de cada uno de los vuelos realizados.

Datos de vuelo	Vuelo inicial	Vuelo 2	Vuelo 3	Vuelo 4
Nº Imágenes (ud)	301	86	100	218
Altitud media de vuelo (m)	103	91.4	92.5	90.4
Resolución en el terreno (cm/pix)	2.55	2.28	2.37	2.28
Superficie cubierta (km ²)	0.432	0.106	0.112	0.275
Posiciones de cámara	301	86	100	218
Puntos de enlace	151,169	66,947	52,874	200,740
Proyecciones	998,270	431,808	392,852	867,161
Error de reproyección (pix)	1.03	0.531	0.497	0.451

Tabla 10. Datos de los vuelos

- Orientación externa o absoluta

Este proceso consiste en referenciar las coordenadas del bloque con respecto a las coordenadas de las bases de apoyo terrestres, de forma que el modelo disponga como referencia las coordenadas terrestres.

Las coordenadas de las bases de apoyo terrestres tienen como sistema de coordenadas el sistema ETRS89 huso 29, mientras que las coordenadas de los fotogramas obtenidos mediante RPAS tienen como sistema de referencia el WGS84.

Para referenciar estos dos sistemas, primero hay que marcar cada uno de los puntos de apoyo en las imágenes en las que se encuentran. Una vez marcados todos los puntos de apoyo en las imágenes, se habrá de orientar de nuevo para referenciar con respecto al sistema de referencia en el que se encuentran los puntos de apoyo terrestres.

El software Photoscan te permite establecer estos marcajes de forma sencilla.

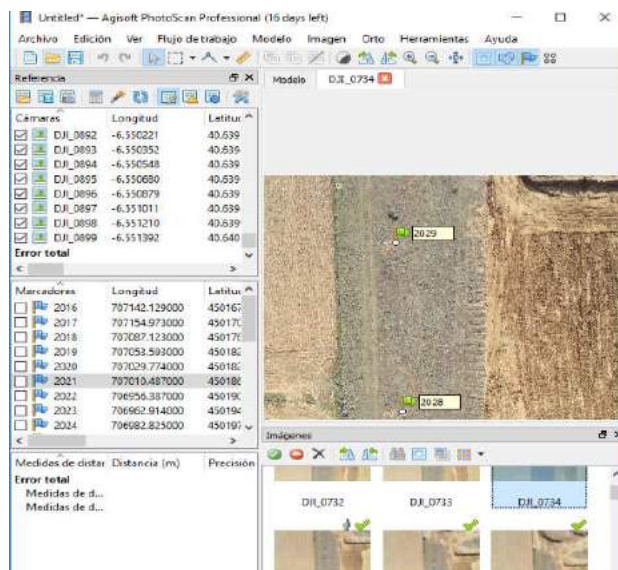


Figura 16. Marcaje de puntos de apoyo terrestre en software Photoscan

Una vez realizada la orientación externa, el modelo estará perfectamente georreferenciado y orientado según el sistema de referencia elegido. En este caso, según el ETRS89 huso 29.

Se han ubicado 35 puntos de apoyo terrestre para el primer vuelo y 36 puntos de apoyo para el resto de los vuelos, si bien, en la totalidad de los vuelos no han sido utilizados todos para georreferenciar, o bien por mala visibilización de los puntos en las imágenes, o bien porque se ha tomado menos superficie de vuelo que no recoge la totalidad de los marcadores, también ha habido algunas bases que durante la fase de ejecución de los trabajos se han modificado o eliminado.

En la tabla 11 se muestran los errores acumulados obtenidos en cada uno de los vuelos realizados con respecto a los puntos de

Nº vuelo	Error X (cm)	Error Y (cm)	Error Z (cm)	Error XY (cm)	Error Total (cm)
Vuelo 1	2.86	2.82	3.20	4.01	5.13
Vuelo 2	1.99	1.43	1.57	2.45	2.91
Vuelo 3	2.09	1.44	1.17	2.54	2.80
Vuelo 4	1.27	1.40	0.96	1.89	2.12

Tabla 11. Errores acumulados en referencia de bases de apoyo terrestre

3.3.3 Obtención de MDE y ortomosáico

Una vez que ya se dispone de un modelo referenciado al terreno, el siguiente paso es la obtención de los diversos productos que se han de entregar.

3.3.3.1 MDE

El MDE o modelo digital de elevaciones es la representación de la distribución espacial de la altitud de una superficie. Puede definirse como una representación numérica en la que la altitud de un punto se puede obtener a partir de sus coordenadas planimétricas.

Un MDE puede tener dos estructuras diferenciadas:

Estructura vectorial, a partir de una malla regular de puntos o bien a partir de las curvas de nivel o bien a través de una malla de triángulos irregulares.

El mismo día en el cual se realizó el vuelo inicial, se realizó un levantamiento topográfico de la zona mediante metodología clásica. Se ha obtenido un modelo digital del terreno a partir de un mallado irregular de triángulos. En el resto de los vuelos, no se ha realizado ningún levantamiento topográfico mediante topografía clásica.

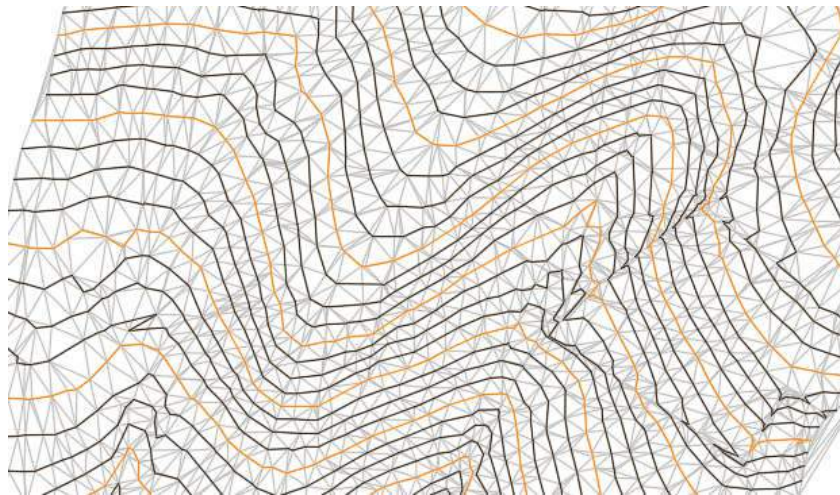


Figura 17. MDT de estructura vectorial con topografía clásica levantamiento topográfico inicial

Estructura ráster. A cada píxel de la imagen se le asocia la altitud media del terreno correspondiente. De esta forma, se genera un modelo tridimensional.

Debido al avance de las obras, una vez obtenida la nube de puntos, hay que seleccionar o filtrar los puntos, para que el MDE se genere a nivel del terreno.

En este proyecto, se filtran aquellos elementos como edificios, maquinaria, que se eleven del terreno, puesto que el objetivo de este estudio es la obtención de la cota del terreno, por tanto, el Modelo Digital del Terreno (MDT). El software Photoscan te permite clasificar estos puntos de forma concisa.

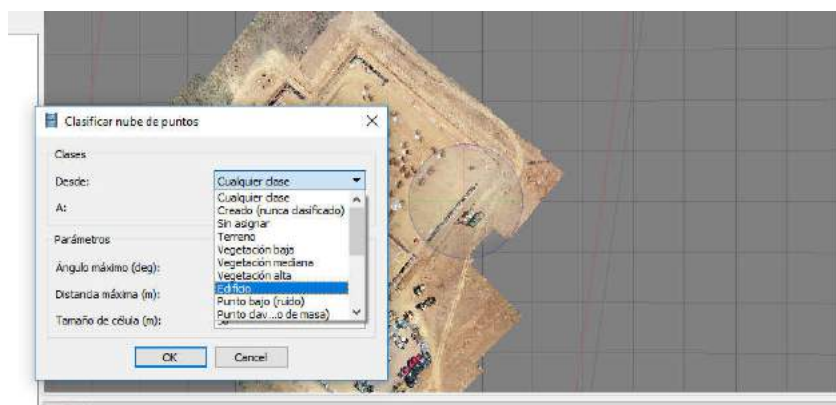


Figura 18. Clasificación de puntos

De esta forma el resultado del MDE de estructura ráster se observa en la figura 17.

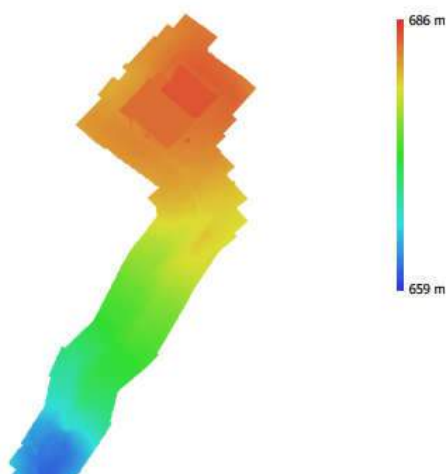


Figura 19. MDT de estructura ráster mediante fotogrametría. Vuelo 4

En el Anexo II se muestran los MDT de cada uno de los vuelos realizados.

3.3.3.2 Ortomosáico

Un ortomosáico, presenta una imagen en perspectiva ortogonal, con lo cual, es muy utilizada en cartografía debido a que la escala permanece constante en la totalidad de la imagen y a que no existen sombras que, si existen en perspectiva cónica, por tanto, puede considerarse como una representación del territorio a escala. El software te permite la obtención de las ortoimágenes de cada una de las imágenes procesadas o por el contrario te permite obtener el ortomosáico completo de la totalidad de las imágenes procesadas.

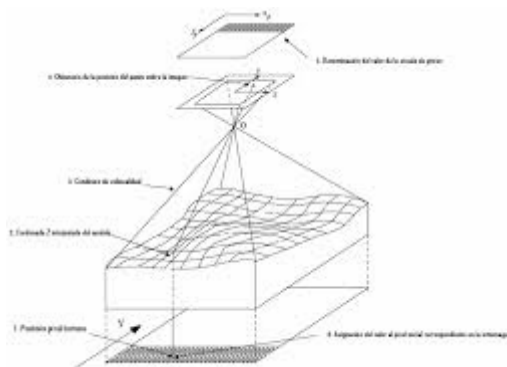


Figura 20. Principio de la rectificación digital

El ortomosáico puede ser exportado en diferentes formatos, como por ejemplo en .Tiff, de forma que pueda utilizarse en otro tipo de software, tipo CAD para su uso.



Figura 21. Ortomosáico vuelo 4

En el Anexo II del presente documento se pueden ver los ortomosaicos obtenidos en cada uno de los vuelos realizados.

3.3.4 Mapa de curvas de nivel.

Para obtener los mapas de curvado de nivel se va a utilizar el software Global Mapper.

Para ello se importan los MDE obtenidos con el software Photoscan, y el software de forma automática permite obtener el curvado de nivel. En este documento se obtiene el curvado con una equidistancia de 0,25 m para todos. Los vuelos.

Los planos son exportados a un programa tipo CAD para obtener el plano a una escala 1:2.500 en los casos de vuelo inicial y vuelo 4 y escala 1:750 en vuelos 2 y 3.

A veces, hay que filtrar de nuevo el curvado de nivel, ya que la fotogrametría aporta una resolución muy elevada y es previsible que reproduzca curvados con mucha mayor resolución de las indicadas, por lo que, visualizando el MDT, la ortofoto y el curvado, se han de filtrar de forma exhaustiva las curvas de nivel en aquellos puntos que tengan demasiado ruido.

En el caso del vuelo 4, por ejemplo, existen multitud de ruidos, debido a que se ha dado comienzo a otra fase de trabajos, la fase de obra civil, por lo que se muestran zanjas, canalizaciones, y otros elementos que interfieren el curvado de la plataforma.

En el caso del levantamiento topográfico realizado mediante topografía clásica, ya se dispone del plano con las curvas de nivel definido en el proyecto constructivo.

4 Productos obtenidos y resultados.

Para cada uno de los vuelos realizados se han obtenido los siguientes documentos:

Vuelo 1 o inicial:

Datos procesados mediante fotogrametría con RPA:

- MDE con estructura ráster con resolución 5,1 cm /pix.
- Ortomosaico con 2,55 cm/pix.
- Mapa de curvas de nivel con equidistancia de 0,25 m

Datos tomados con topografía clásica:

- MDE con estructura vectorial.
- Mapa de puntos y mallado irregular.
- Mapa de curvas de nivel con equidistancia de 0,25 m

Vuelo 2:

Datos procesados mediante fotogrametría con RPA:

- MDE con estructura ráster con resolución 4,56 cm /pix.
- Ortomosaico con 2,28 cm/pix.
- Mapa de curvas de nivel con equidistancia de 0,25 m.

Vuelo 3:

Datos procesados mediante fotogrametría con RPA:

- MDE con estructura ráster con resolución 4,74 cm /pix.
- Ortomosáico con 2,37 cm/pix.
- Mapa de curvas de nivel con equidistancia de 0,25 m.

Vuelo 4:

Datos procesados mediante fotogrametría con RPA:

- MDE con estructura ráster con resolución 4,56 cm /pix.
- Ortomosáico con 2,28 cm/pix.
- Mapa de curvas de nivel con equidistancia de 0,25 m.

4.1 Seguimiento en la evolución de los trabajos

En la tabla 8 se han mostrado los errores que presenta el procesado de imágenes con respecto a los puntos de apoyo terrestres colocados sobre el terreno.

De estos resultados, se observa, que dependiendo del RPAS utilizado el error de georreferenciación puede variar. Observando la tabla 8, el error total de georreferenciación del vuelo 1 realizado con el RPAS ATyges FV-8 y la cámara SONY $\alpha 5000L$, representa un error de casi el doble que, en el resto de los vuelos, realizados con el RPAS DJI Phantom 4 PRO con cámara incorporada. También los datos reflejados en la tabla 10, en la que se incluyen los datos de vuelo, se observa, que, si bien la altura de vuelo programada para la totalidad de los vuelos es de 90 m, la altura media de vuelo del primer RPAS se establece en 103 metros, 13 metros por encima de lo programado, sin embargo, la altura media del resto de vuelos difiere apenas 2 – 3 metros con respecto a la altura programada.

Observando los resultados, se observa que la precisión en la georreferenciación de los datos procesados de todos los vuelos realizados es menor de 6 cm, teniendo un error medio de 3,24 cm como error acumulado total en la totalidad de los vuelos. Así queda representado en la tabla 12.

	<i>Error X (cm)</i>	<i>Error Y (cm)</i>	<i>Error Z (cm)</i>	<i>Error XY (cm)</i>	<i>Error Total (cm)</i>
<i>Media vuelos</i>	2,05	1,77	1,72	2,72	3.24

Tabla 12. Error medio de los vuelos en la georreferenciación

Como se ha citado anteriormente en el presente documento, los trabajos de movimiento de tierras aún no han finalizado por lo que ni el control de la planimetría ni el control de altimetría no ha podido finalizar, y por tanto el presente estudio no permite realizar el control planimétrico final de la construcción de la plataforma.

Para el control final de planimetría, se establece para el futuro la colocación de puntos de apoyo terrestre coincidentes con las esquinas de la plataforma, ejes de replanteo u otros puntos de control, y comprobar mediante fotogrametría con un vuelo los errores.

Mediante el ortomosáico también se podría realizar un control planimétrico, en tanto en cuanto, si el ortomosáico se carga en un software tipo cad, y se dibuja sobre dicha ortofoto o se carga el plano de proyecto constructivo, se pueden observar las diferencias.

Otro de los requisitos solicitados es la resolución de los MDE generados, se pide una precisión menor de 15 cm/ pix. En la tabla 10 queda representada la resolución obtenida

en cada uno de los MDE y en cada uno de los ortomosáicos obtenidos del procesado de los vuelos.

Resolución (cm/pix)	Vuelo 1	Vuelo 2	Vuelo 3	Vuelo 4
MDE	5,1	4,56	4,74	4,56
Ortomosáico	2,55	2,28	2,37	2,28

Tabla 13. Resolución MDE y Ortomosáicos obtenidos

Por, tanto estos errores son asumibles y entran dentro del margen de error requerido, y por tanto se puede confirmar que **el uso de la fotogrametría mediante RPAS para el control de ejecución de un movimiento de tierras es válido.**

En el Anexo I del presente documento se representan los informes de procesado de la totalidad de los vuelos.

4.2 Cálculo de volúmenes

Con los productos obtenidos mediante la fotogrametría se puede realizar un cálculo de volúmenes de tierra que se han ejecutado durante la fase del movimiento de tierras.

Para ello se va a emplear el software Global Mapper.

Para el cálculo real de la totalidad de los volúmenes se requiere más información que la disponible, ya que, se debiera haber realizado una toma de imágenes cuando se hubiese excavado hasta el fondo de excavación de la totalidad de la superficie, tanto en la construcción de la plataforma como en la construcción del camino. Para el objeto de estudio de este documento se va a realizar el cálculo de los volúmenes mediante la comparación de los MDT calculados previamente. Para que no exista error en el cálculo, se va a tomar como referencia el MDT del vuelo 2. A partir de dicho MDT se van a calcular los volúmenes de terraplenado de los vuelos 3 y 4 en la plataforma.

Para ello el software te calcula el MDT de diferencia entre dos MDT, posteriormente en ese MDT se ha de seleccionar el área del cual deseas calcular el volumen, para calcular el volumen en dicho área seleccionada. Este software te ofrece tanto áreas como volúmenes, tanto en desmonte como en terraplén.

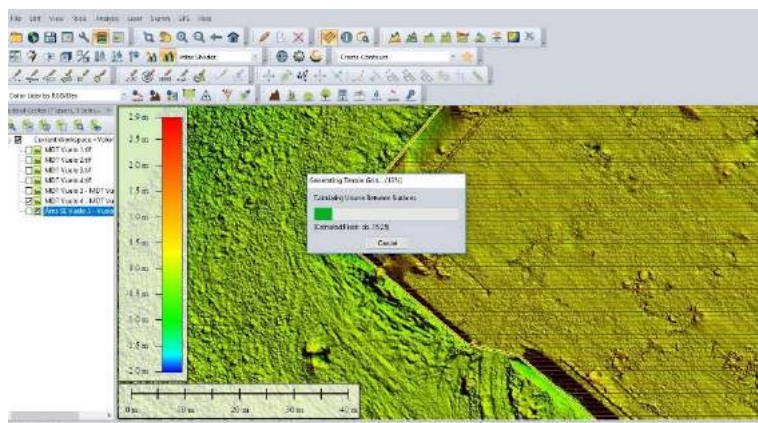


Figura 22. Cálculo de volúmenes a partir de MDT en un área determinada

Los resultados obtenidos en el cálculo de los volúmenes se pueden observar en la tabla 14.

CÁLCULO DE VOLÚMENES ENTRE MDT VUELO 3 - VUELO 2							
Volumen Total (m³)	Volumen neto (m³)	Volumen desmonte (m³)	Área de Desmonte (m²)	Área de Desmonte 3D (km²)	Volumen Terraplén (m³)	Área Terraplén (m²)	Área de Terraplén 3D (km²)
24.085,336	-14.146,606	4.969,3652	0,00667	0,00689	19.115.971	0,02187	0,02229
CÁLCULO DE VOLÚMENES ENTRE MDT VUELO 4 - VUELO 3							
Volumen Total (m³)	Volumen neto (m³)	Volumen desmonte (m³)	Área de Desmonte (m²)	Área de Desmonte 3D (km²)	Volumen Terraplén (m³)	Área Terraplén (m²)	Área de Terraplén 3D (km²)
22.996,447	22.951,451	22.973,949	0,0275	0,02791	22.497,988	0,0003168	0,0003287

Tabla 14. Cálculo de volúmenes ejecutados en obra

La ventaja del cálculo sobre un MDT generado por fotogrametría, tiene sus ventajas, pues la malla de puntos es mucho mayor que la malla de puntos generada a partir de topografía clásica, si bien, esto queda compensado por el mayor error que tiene la fotogrametría con respecto al uso de topografía clásica.

5 Conclusiones

En función de los resultados obtenidos, puede confirmarse que el uso de RPAS para trabajos de cartografía y topografía, es una opción más y que supone un complemento al resto de opciones como por ejemplo la topografía clásica.

Todo va a depender de los condicionantes del terreno, teniendo en cuenta que el uso de RPAS para fotogrametría es más rentable para extensiones no muy grandes, con poca vegetación, con dificultad para llegar a pie, en zonas sin restricciones/requerimientos especiales según normativa vigente...

A continuación, expreso mis conclusiones en cuanto al uso de un sistema frente a otro.

Fotogrametría área mediante RPAS frente a la topografía clásica (a pie).

Ventajas:

- Servicio más económico dependiendo de la superficie a cartografiar. Para pequeñas extensiones, a igualdad de tiempo, mayor superficie con RPAS.
- Levantamientos topográficos más rápidos si la climatología es favorable.
- Mayor seguridad para el trabajador, debido a que el manejo de RPA se puede realizar sin necesidad de acceder al lugar, por lo que el riesgo se minimiza.
- Mayor número de productos resultantes. La topografía clásica nos genera planos, curvado y MDT, la fotogrametría produce además nube de puntos, MDS, MDT muy preciso, ortofotos, productos texturizados, etc.
- Mayor detalle. La fotogrametría registra todos los detalles del terreno de forma continua, por el contrario, la topografía clásica, proporciona los datos de puntos medidos en las coordenadas y con estas coordenadas mediante interpolación se obtienen otros productos como el curvado y el MDT.
- Mejor resolución. La fotogrametría mediante RPAS consigue millones de puntos con color; la superficie queda mejor representada y es posible obtener un MDE que se ajuste más a la realidad y proporciona una apariencia similar a la realidad del terreno.

- Mayor seguridad. Debido a que el pilotaje de RPA no sugiere el acceso a determinados lugares que requieran un cierto riesgo.

Desventajas:

- Elementos ocultos por la vegetación. En lugares de mucha vegetación, esta impide la visión de elementos que estén por debajo de zonas frondosas. De esta forma será necesario una medición en campo a través de la topografía clásica o el uso de otros sensores en el RPAS como por ejemplo LiDAR.
- Dependencia. La fotogrametría mediante RPA para georreferenciarse, necesita unos puntos de apoyo terrestre que han de ser colocados sobre el terreno y previamente georreferenciados mediante topografía clásica.
- Duración de las baterías. Las baterías suelen tener una duración en torno a 20 a 30 minutos, con lo que conlleva o bien llevar varias baterías o bien tomar superficies de vuelo menores.
- Restricciones en el uso. Tanto por la limitación en altura, en distancia y en lugares de vuelo.

Para el cálculo de volúmenes en un movimiento de tierras es un método que, para determinados trabajos, ofrece grandes resultados, debido a que la malla de puntos obtenida es muy superior a la obtenida por topografía clásica y por tanto es mucho más exacta, y por tanto si es un método válido para el cálculo volumétrico de movimiento de tierras.

Si bien, en ciertas obras en fase de obra civil o montaje electromecánico en las que existen multitud de elementos a construir, el uso de la fotogrametría no se considera el más adecuado, en tanto en cuanto puede producir demasiado ruido en la generación de los MDE y por tanto, pudieran emplearse otros métodos como seguimiento por LiDAR, o bien terrestre o bien asociado a un RPAS, si bien este sensor, a día de hoy, supone un enorme encarecimiento, que no lo hace rentable para este tipo de trabajos.

El uso de RPAS para fotogrametría, en infraestructuras eléctricas es un método válido y representa una alternativa bastante a tener en cuenta, sobre todo, por la seguridad de los trabajos, puesto que el acceso a elementos que se encuentran en tensión y a los cuales no se puede acceder sin realizar un descargo eléctrico, o bien el acceso a elementos en altura, que suponen un riesgo añadido al personal que opera sobre ellos, la tecnología avanza y evoluciona a pasos agigantados y hay que alegrarse de ello para su aplicación, pero analizando los factores que determinen la viabilidad de sus uso para un determinado tipo de trabajo.

6 Referencias

Bibliografía.

- Barrientos, A., Del Cerro, J., Gutiérrez, P., Martínez, A., Rossi, C. (2007). "Vehículos aéreos no tripulados para uso civil. Tecnología y aplicaciones". Escuela Politécnica de Madrid.
- Hernández-López, D. (2015). "Apuntes de Introducción a la fotogrametría digital". E.T.S.I. Agrónomos y de Montes Universidad de Castilla La Mancha.
- Hernandez-Lopez, D., Felipe-García, B., Gonzalez-Aguilera, D., & Arias-Pérez, B. (2013). "An automatic approach to UAV flight planning and control for photogrammetric applications". Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 79(1), 87-98.
- Lerma J.L. (2002). "Fotogrametría moderna, analítica y digital". Valencia. Servicio de Publicaciones de la UPV.
- Linder W. (2003). "Digital Photogrammetry. Theory and applications". Springer.
- Mora Fernández de Córdoba, R. (2010). "Generación de productos cartográficos (MDT y ortofotos) a partir de imágenes capturadas con vehículos UAV".
- Muane, D. (2007). "Digital elevation model technologies and applications: the DEM user's manual". ASPRS.
- Pérez-Álvarez, Juan A. (2000). Apuntes de fotogrametría III. Universidad de Extremadura EUIT Topográfica Mérida.

Páginas web consultadas.

- BOE. Real Decreto 1036/2017, de 15 de diciembre, por el que se regula la utilización civil de las aeronaves pilotadas por control remoto, visto el 22 de junio de 2019
<https://www.boe.es/boe/dias/2017/12/29/pdfs/BOE-A-2017-15721.pdf>
- Agencia Estatal de Seguridad Aérea. Ministerio de Fomento. Introducción drones, visto el 24 de junio de 2019
https://www.seguridadaerea.gob.es/lang_castellano/cias_empresas/trabajos/rpas/default.aspx
- ENAIRE. Drones, visto el 28 de junio de 2019
<https://drones.enaire.es/>
- Casa comercial Drones Made Easy, visto el 30 de junio 2019G
<https://www.dronesmadeeasy.com/>
- Casa comercial ATyges, visto el 30 de junio 2019

Anexos

Anexo I. Informes de procesado de imágenes

Anexo II. Documentos gráficos obtenidos

Anexo III. Cálculo de volúmenes.

g

Anexo I. Informes de procesado de imágenes

- ✓ Informe de procesamiento vuelo 1
- ✓ Informe de procesamiento vuelo 2
- ✓ Informe de procesamiento vuelo 3
- ✓ Informe de procesamiento vuelo 4

Vuelo 1 o Inicial. Noviembre 2018

**Informe de procesamiento
30 junio 2019**



Datos del levantamiento

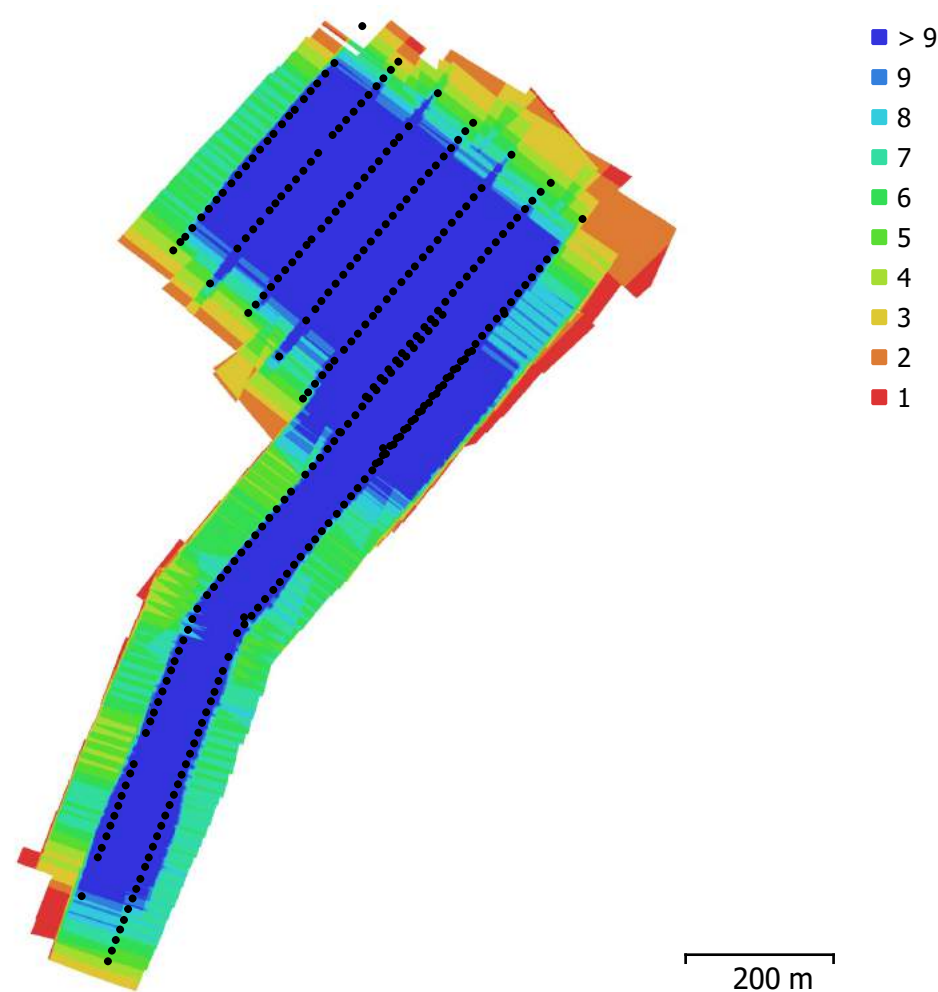


Fig. 1. Posiciones de cámaras y solapamiento de imágenes.

Número de imágenes:	301	Posiciones de cámara:	301
Altitud media de vuelo:	103 m	Puntos de enlace:	151,169
Resolución en terreno:	2.55 cm/pix	Proyecciones:	998,270
Superficie cubierta:	0.432 km ²	Error de reproyección:	1.03 pix

Modelo de cámara	Resolución	Distancia focal	Tamaño de píxel	Precalibrada
ILCE-5000 (16 mm)	5456 x 3632	16 mm	4.4 x 4.4 micras	No

Tabla 1. Cámaras.

Calibración de cámara

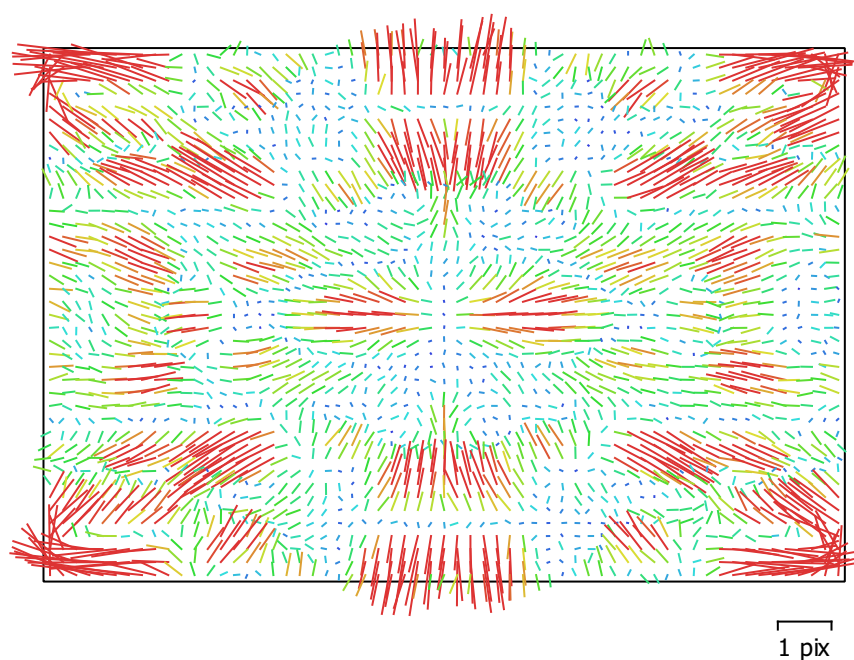


Fig. 2. Gráfico de residuales para ILCE-5000 (16 mm).

ILCE-5000 (16 mm)

301 imágenes

Tipo	Resolución	Distancia focal	Tamaño de píxel
Cuadro	5456 x 3632	16 mm	4.4 x 4.4 micras

	Valor	Error	F	Cx	Cy	B1	B2	K1	K2	K3	P1	P2
F	3691.96	0.26	1.00	-0.24	-0.41	-0.03	-0.05	-0.26	0.20	-0.15	0.00	0.06
Cx	-19.9817	0.098		1.00	0.12	0.12	0.21	0.05	-0.04	0.04	0.01	-0.10
Cy	-47.0915	0.12			1.00	-0.19	0.18	0.08	-0.06	0.05	0.09	-0.24
B1	-0.784527	0.021				1.00	-0.01	0.01	-0.02	0.02	-0.01	0.16
B2	0.181186	0.02					1.00	0.01	-0.01	0.01	0.00	-0.15
K1	-0.0602135	3.7e-05						1.00	-0.96	0.90	-0.01	-0.01
K2	0.065719	0.00011							1.00	-0.98	0.01	-0.01
K3	-0.0259027	9.4e-05								1.00	-0.01	0.01
P1	-0.00113294	2.4e-06									1.00	-0.04
P2	-0.00262425	2.1e-06										1.00

Tabla 2. Coeficientes de calibración y matriz de correlación.

Puntos de control terrestres

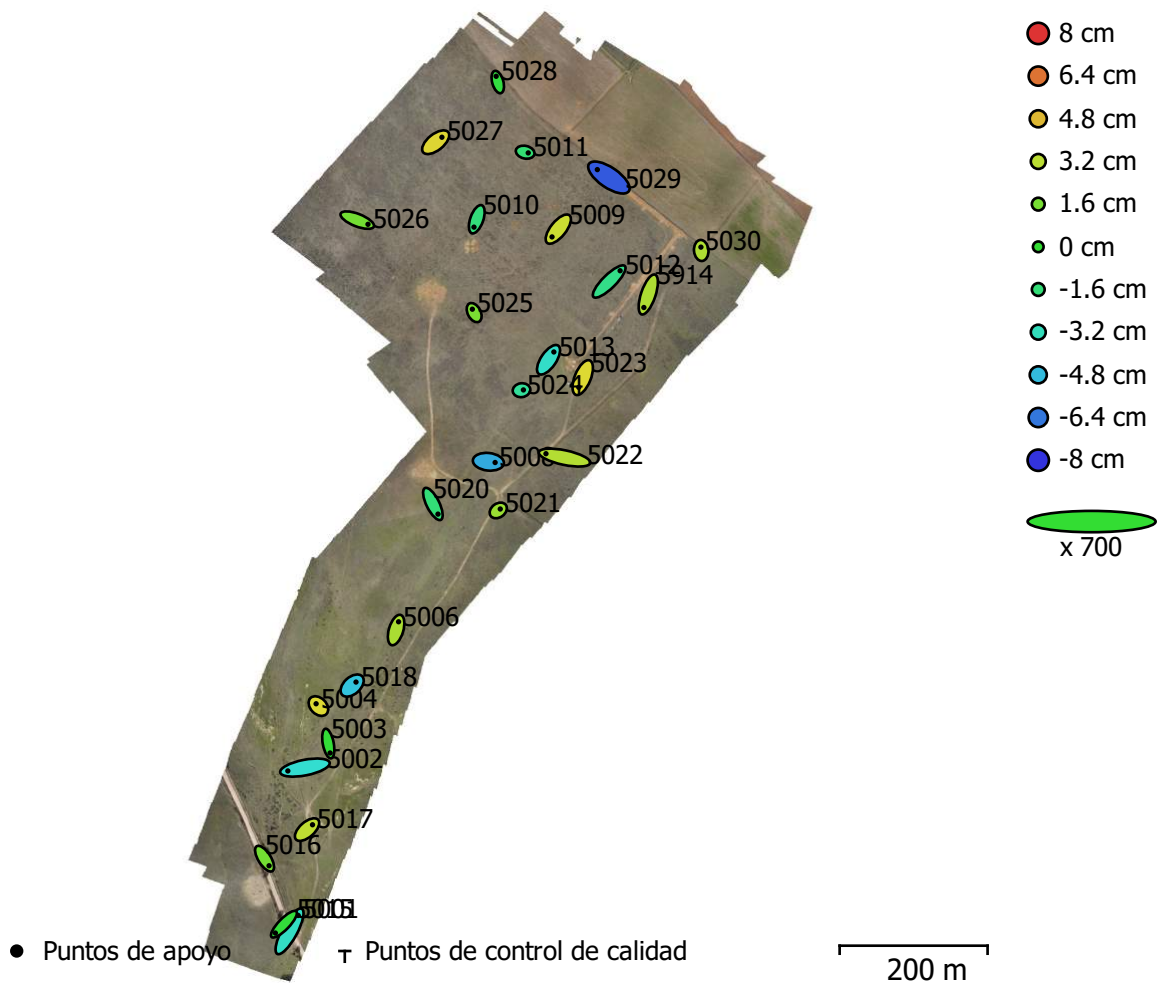


Fig. 3. Posiciones de puntos de apoyo y estimaciones de errores.

El color indica el error en Z mientras el tamaño y forma de la elipse representan el error en XY. Posiciones estimadas de puntos de apoyo se indican con los puntos negros, puntos de control - con cruzamiento.

Número	Error X (cm)	Error Y (cm)	Error Z (cm)	Error XY (cm)	Total (cm)
27	2.85805	2.81682	3.19771	4.01284	5.13111

Tabla 3. ECM de puntos de apoyo.

X - Este, Y - Norte, Z - Altitud.

Nombre	Error X (cm)	Error Y (cm)	Error Z (cm)	Total (cm)	Imagen (pix)
5001	3.33574	6.13362	-3.4341	7.78084	0.854 (7)
5002	-6.59805	-1.2895	-3.71464	7.68086	0.599 (12)
5003	0.709175	-3.64732	-0.198322	3.72091	0.661 (12)
5004	-0.886485	0.896486	4.07722	4.2677	0.752 (13)
5006	0.957614	3.17394	2.77458	4.3231	0.675 (11)
5008	2.60275	-0.281541	-5.21069	5.83137	0.970 (14)
5012	4.21921	4.16114	-2.03496	6.26561	0.799 (19)
5013	2.05563	3.01523	-3.51523	5.06696	0.739 (26)
5016	1.73792	-2.74218	1.43161	3.54815	0.697 (10)
5017	2.11353	1.86449	3.28449	4.32796	0.809 (14)
5018	1.4843	1.35184	-4.66819	5.0816	0.801 (13)
5020	1.96364	-3.91757	-1.62216	4.67276	0.880 (12)
5021	0.767799	0.551286	2.38594	2.56635	0.381 (7)
5022	-7.185	1.50797	2.93814	7.90764	0.558 (12)
5030	-0.114491	1.28422	2.8333	3.11287	0.670 (11)
5914	-1.70331	-5.02937	2.86316	6.0327	0.751 (17)
5028	-0.630644	2.21815	-0.369211	2.33543	0.822 (10)
5027	2.4075	1.92048	4.16114	5.17681	0.673 (12)
5026	4.15169	-1.61667	1.4511	4.6857	0.586 (10)
5010	-1.07971	-3.041	-1.76073	3.67609	0.479 (13)
5029	-4.46763	3.06119	-7.19161	9.00277	0.405 (11)
5009	-2.42694	-3.00783	3.59636	5.27929	0.998 (12)
5023	-1.52916	-3.76344	4.05385	5.73895	0.736 (25)
5024	0.734679	0.105045	-2.40409	2.51604	0.609 (26)
5025	-0.697489	1.31083	1.68586	2.24653	0.490 (12)
5015	-3.31273	-3.42507	-0.21249	4.76974	0.632 (6)
5011	1.19172	-0.276134	-1.50324	1.93809	0.791 (18)
Total	2.85805	2.81682	3.19771	5.13111	0.721

Tabla 4. Puntos de apoyo.
X - Este, Y - Norte, Z - Altitud.

Modelo digital de elevaciones

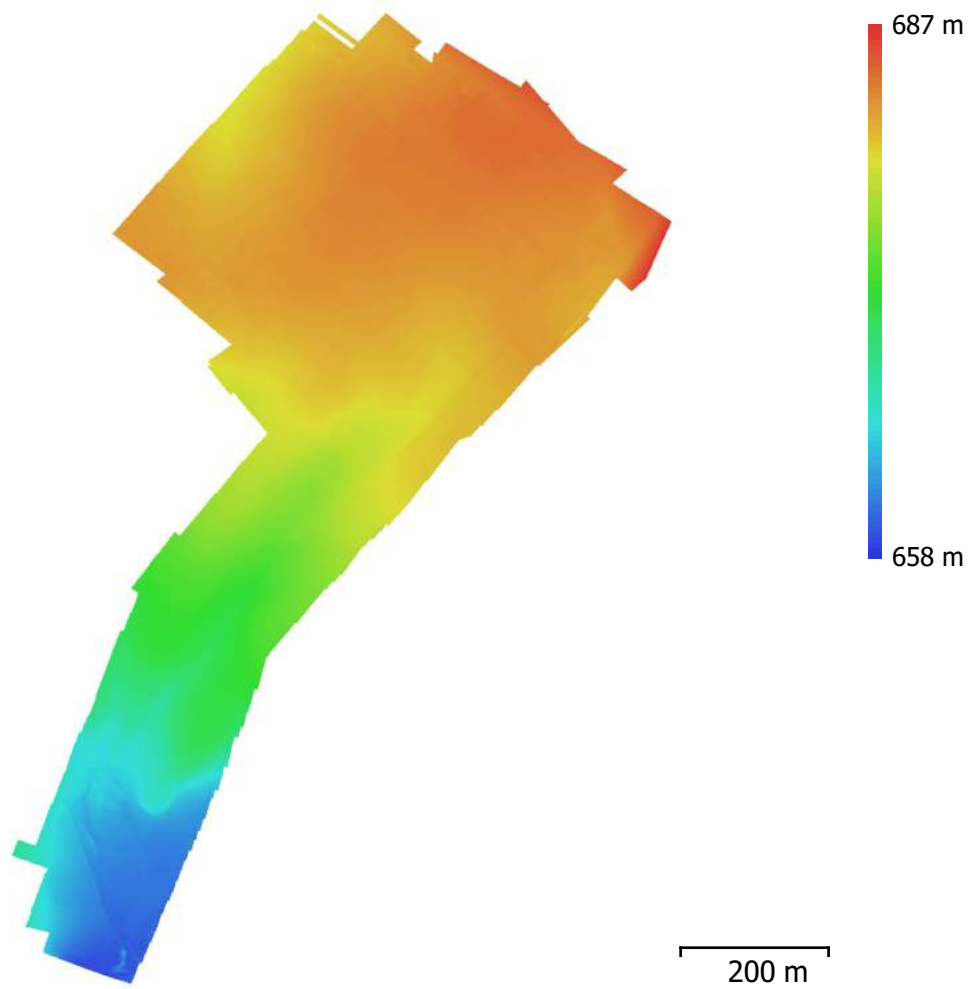


Fig. 4. Modelo digital de elevaciones.

Resolución: 5.1 cm/pix
Densidad de puntos: 385 puntos/m²

Parámetros de procesamiento

Generales

Cámaras	301
Cámaras orientadas	301
Marcadores	27
Sistema de coordenadas	ETRS89 / UTM zone 29N (N-E) (EPSG::3041)
Ángulo de rotación	Omega, Phi, Kappa

Nube de puntos

Puntos	151,169 de 182,495
RMS error de reproyección	0.380733 (1.02873 pix)
Error de reproyección máximo	3.8345 (14.5446 pix)
Tamaño promedio de puntos característicos	2.79998 pix
Superposición efectiva	6.98233

Parámetros de orientación

Precisión	Alta
Pre-selección genérica	Sí
Pre-selección de referencia	Sí
Puntos claves por foto	40,000
Puntos de enlace por foto	4,000
Tiempo búsqueda de puntos homólogos	45 minutos 18 segundos

Parámetros de optimización

Parámetros	f, b1, b2, cx, cy, k1-k3, p1, p2
Compensar rolling-shutter	No
Tiempo de optimización	14 segundos

Nube de puntos densa

Puntos	190,605,088
--------	-------------

Parámetros de reconstrucción

Calidad	Alta
Filtrado de profundidad	Agresivo
Tiempo de generación de mapas de profundidad	11 horas 9 minutos
Tiempo de generación de nube de puntos densa	1 hora 38 minutos

Modelo

Caras	37,618,936
Vértices	18,823,235
Textura	4,096 x 4,096, uint8

Parámetros de reconstrucción

Tipo de superficie	Bajorrelieve / terreno
Datos fuente	Densa
Interpolación	Habilitada
Calidad	Alta
Filtrado de profundidad	Agresivo
Número de caras	38,121,017
Duración del procesamiento	17 minutos 28 segundos

Parámetros de texturizado

Modo de mapeado	Ortofoto
Modo de mezcla	Mosaico
Tamaño de textura	4,096 x 4,096
Realizar el relleno de agujeros	Sí
Tiempo de mapeado en UV	13 minutos 33 segundos
Tiempo de mezcla	25 minutos 50 segundos

DEM

Tamaño	24,760 x 35,676
Sistema de coordenadas	ETRS89 / UTM zone 29N (N-E) (EPSG::3041)

Parámetros de reconstrucción

Datos fuente	Malla
Interpolación	Habilitada
Duración del procesamiento	8 minutos 15 segundos

Ortomosaico

Tamaño	33,355 x 53,173
Sistema de coordenadas	ETRS89 / UTM zone 29N (N-E) (EPSG::3041)
Canales	3, uint8

Parámetros de reconstrucción

Modo de mezcla	Mosaico
Superficie	Modelo digital de elevaciones
Realizar el relleno de agujeros	Sí
Duración del procesamiento	20 minutos 38 segundos

Software

Versión	1.4.0 build 5076
Plataforma	Windows 64

Vuelo 2. Marzo 2019

**Informe de procesamiento
30 junio 2019**



Datos del levantamiento

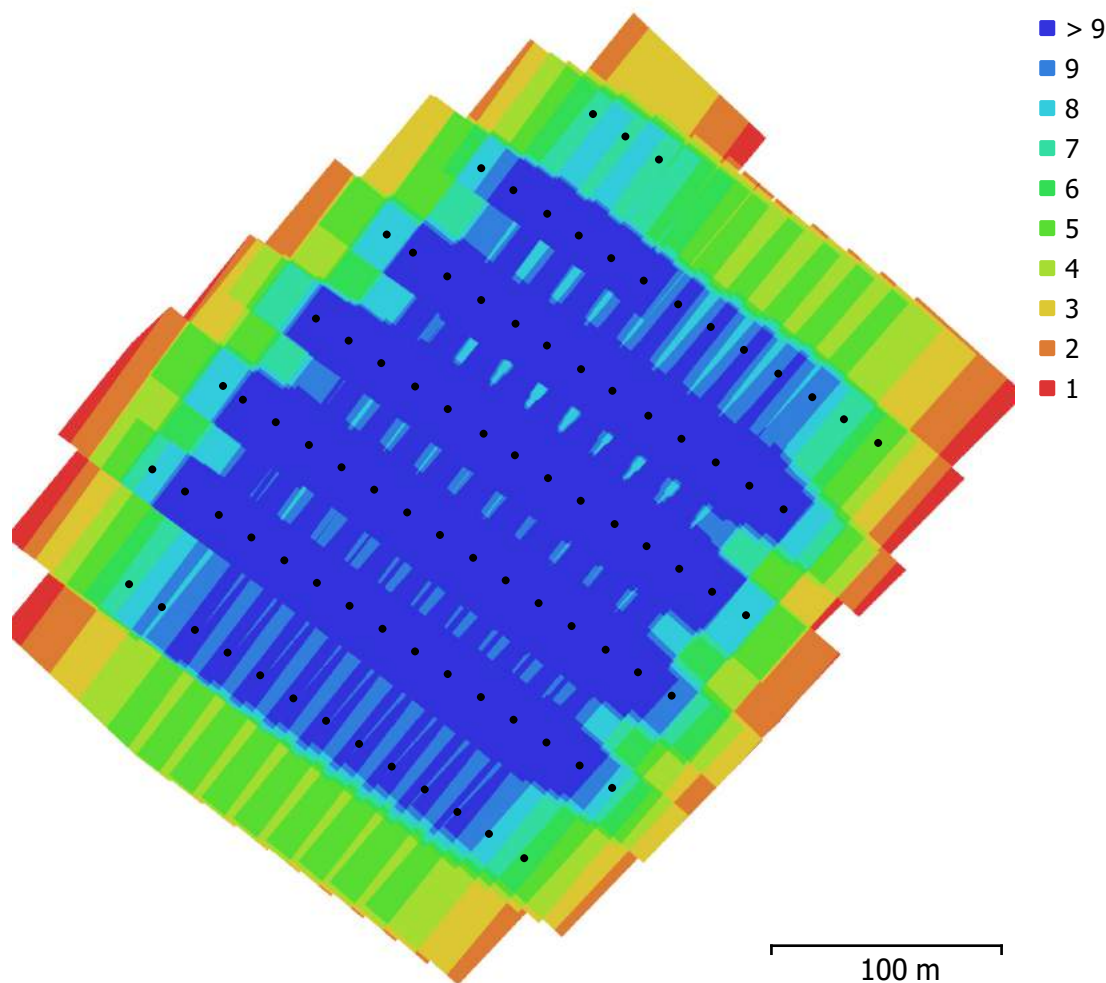


Fig. 1. Posiciones de cámaras y solapamiento de imágenes.

Número de imágenes: 86

Altitud media de vuelo: 91.4 m

Resolución en terreno: 2.28 cm/pix

Superficie cubierta: 0.106 km²

Posiciones de cámara: 86

Puntos de enlace: 66,947

Proyecciones: 431,808

Error de reproyección: 0.531 pix

Modelo de cámara	Resolución	Distancia focal	Tamaño de píxel	Precalibrada
FC6310 (8.8 mm)	5472 x 3648	8.8 mm	2.41 x 2.41 micras	No

Tabla 1. Cámaras.

Calibración de cámara

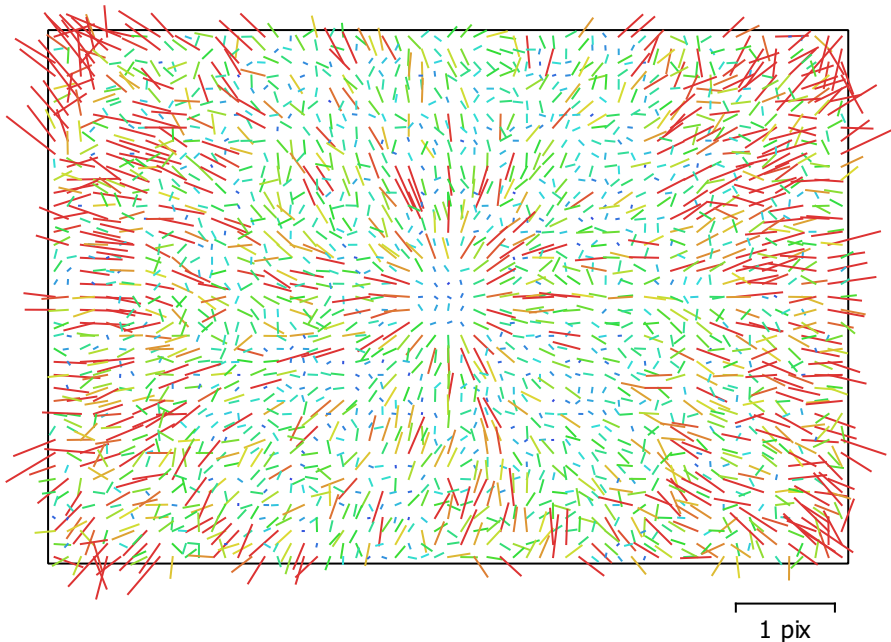


Fig. 2. Gráfico de residuales para FC6310 (8.8 mm).

FC6310 (8.8 mm)

86 imágenes

Tipo	Resolución	Distancia focal	Tamaño de píxel
Cuadro	5472 x 3648	8.8 mm	2.41 x 2.41 micras

	Valor	Error	F	Cx	Cy	B1	B2	K1	K2	K3	K4	P1	P2
F	3647.28	7.1	1.00	0.32	0.74	0.02	0.14	0.45	-0.86	0.93	-0.95	0.56	0.55
Cx	-0.858792	0.16		1.00	0.23	0.01	-0.00	0.11	-0.26	0.28	-0.29	0.25	0.16
Cy	18.9297	0.19			1.00	0.03	0.11	0.34	-0.64	0.69	-0.71	0.42	0.46
B1	-0.601483	0.02				1.00	0.01	0.01	-0.03	0.03	-0.03	0.00	-0.00
B2	1.02607	0.021					1.00	0.06	-0.12	0.13	-0.14	0.09	0.07
K1	0.00884228	7.1e-05						1.00	-0.82	0.72	-0.67	0.24	0.26
K2	-0.0663419	0.00058							1.00	-0.99	0.97	-0.47	-0.48
K3	0.116979	0.0015								1.00	-1.00	0.51	0.51
K4	-0.0680116	0.0011									1.00	-0.53	-0.52
P1	0.00106571	3.1e-06										1.00	0.31
P2	0.000779963	2.5e-06											1.00

Tabla 2. Coeficientes de calibración y matriz de correlación.

Puntos de control terrestres

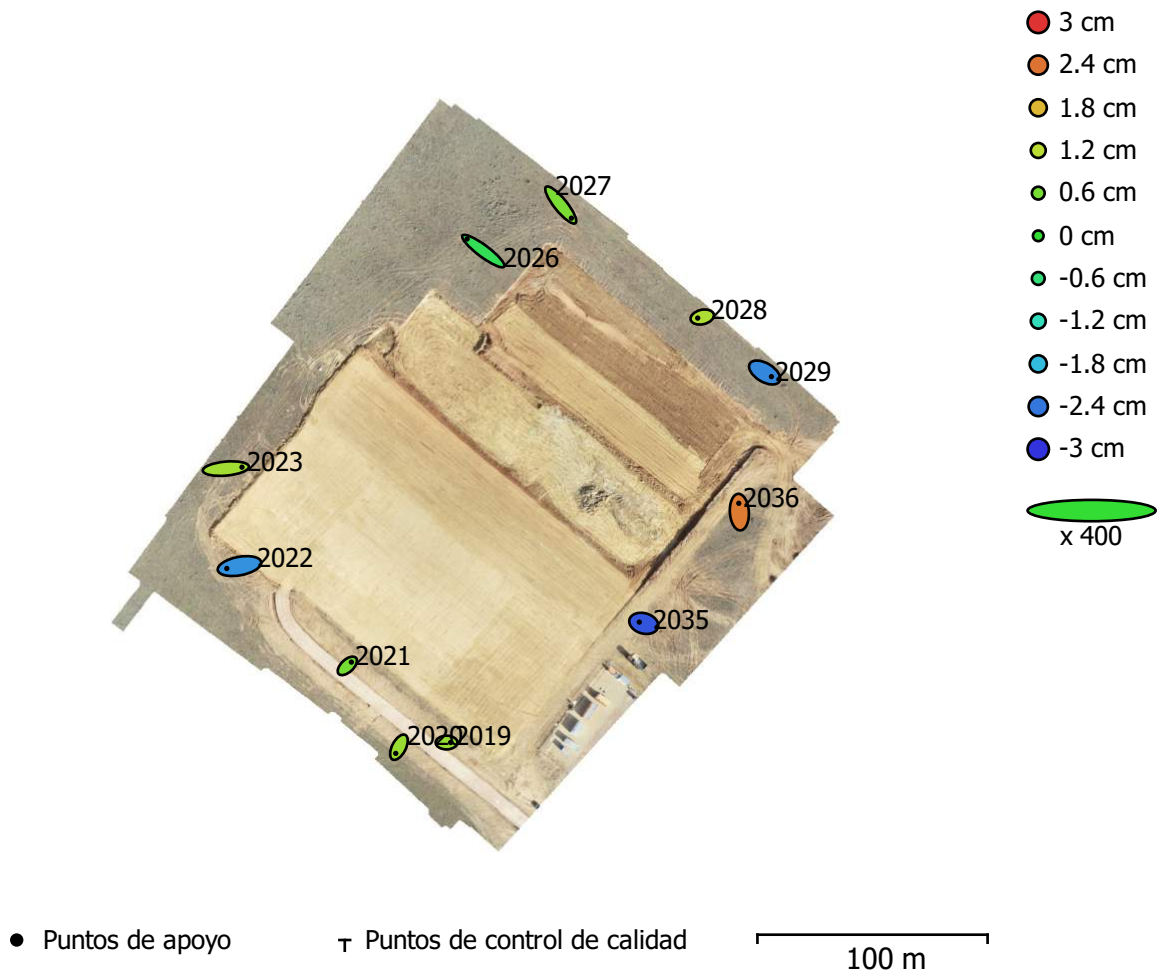


Fig. 3. Posiciones de puntos de apoyo y estimaciones de errores.

El color indica el error en Z mientras el tamaño y forma de la elipse representan el error en XY. Posiciones estimadas de puntos de apoyo se indican con los puntos negros, puntos de control - con cruzamiento.

Número	Error X (cm)	Error Y (cm)	Error Z (cm)	Error XY (cm)	Total (cm)
11	1.99122	1.4288	1.56832	2.4508	2.90965

Tabla 3. ECM de puntos de apoyo.

X - Este, Y - Norte, Z - Altitud.

Nombre	Error X (cm)	Error Y (cm)	Error Z (cm)	Total (cm)	Imagen (pix)
2019	0.881114	0.00827049	0.860675	1.23174	0.490 (10)
2020	-0.691848	-1.33732	0.874605	1.74127	0.497 (10)
2021	0.881989	0.81968	0.535824	1.31791	0.456 (10)
2022	-2.75267	-0.5219	-2.18161	3.55091	0.611 (9)
2023	3.49478	0.312247	0.941392	3.6328	0.851 (10)
2026	-3.51088	2.62005	-0.308639	4.39161	0.728 (9)
2027	2.31848	-2.86121	0.601643	3.73147	0.806 (13)
2028	-0.979918	-0.227434	1.07856	1.47488	0.509 (10)
2029	1.47638	-0.890168	-2.25186	2.83601	0.577 (9)
2035	-0.966605	0.272068	-2.72812	2.90706	0.392 (9)
2036	-0.123181	1.91222	2.34168	3.02576	0.605 (11)
Total	1.99122	1.4288	1.56832	2.90965	0.616

Tabla 4. Puntos de apoyo.
X - Este, Y - Norte, Z - Altitud.

Modelo digital de elevaciones

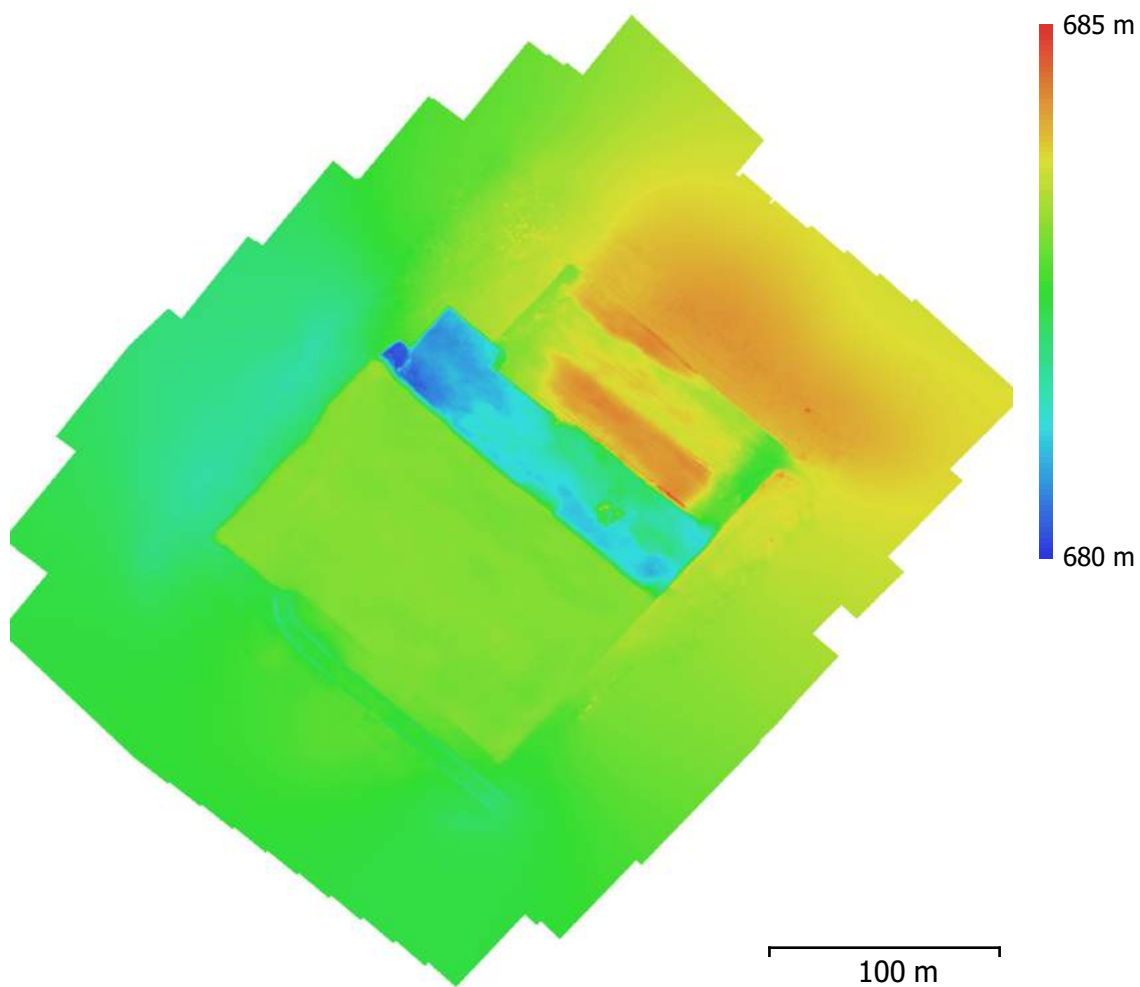


Fig. 4. Modelo digital de elevaciones.

Resolución: 4.56 cm/pix
Densidad de puntos: 481 puntos/m²

Parámetros de procesamiento

Generales

Cámaras	86
Cámaras orientadas	86
Marcadores	11

Formas

Polilíneas	58
Polígonos	5022

Sistema de coordenadas

Ángulo de rotación

ETRS89 / UTM zone 29N (N-E) (EPSG::3041)
Omega, Phi, Kappa

Nube de puntos

Puntos	66,947 de 70,805
RMS error de reproyección	0.206292 (0.530711 pix)
Error de reproyección máximo	0.911143 (7.35449 pix)
Tamaño promedio de puntos característicos	2.67802 pix
Superposición efectiva	6.58006

Parámetros de orientación

Precisión	Alta
Pre-selección genérica	Sí
Pre-selección de referencia	Sí
Puntos claves por foto	40,000
Puntos de enlace por foto	4,000
Restricción de máscara activa	Sí
Adaptativo ajuste del modelo de cámara	Sí
Tiempo búsqueda de puntos homólogos	12 minutos 5 segundos
Tiempo de orientación	1 minuto 1 segundo

Parámetros de optimización

Parámetros	f, b1, b2, cx, cy, k1-k4, p1, p2
Compensar rolling-shutter	No
Tiempo de optimización	6 segundos

Nube de puntos densa

Puntos	24,877,991
--------	------------

Parámetros de reconstrucción

Calidad	Alta
Filtrado de profundidad	Agresivo
Tiempo de generación de mapas de profundidad	2 horas 29 minutos
Tiempo de generación de nube de puntos densa	12 minutos 22 segundos

Modelo

Caras	4,914,921
Vértices	2,463,448
Textura	4,096 x 4,096, uint8

Parámetros de reconstrucción

Tipo de superficie	Bajorrelieve / terreno
Datos fuente	Densa
Interpolación	Deshabilitado
Calidad	Alta
Filtrado de profundidad	Agresivo
Número de caras	4,975,598
Duración del procesamiento	58 segundos

Parámetros de texturizado

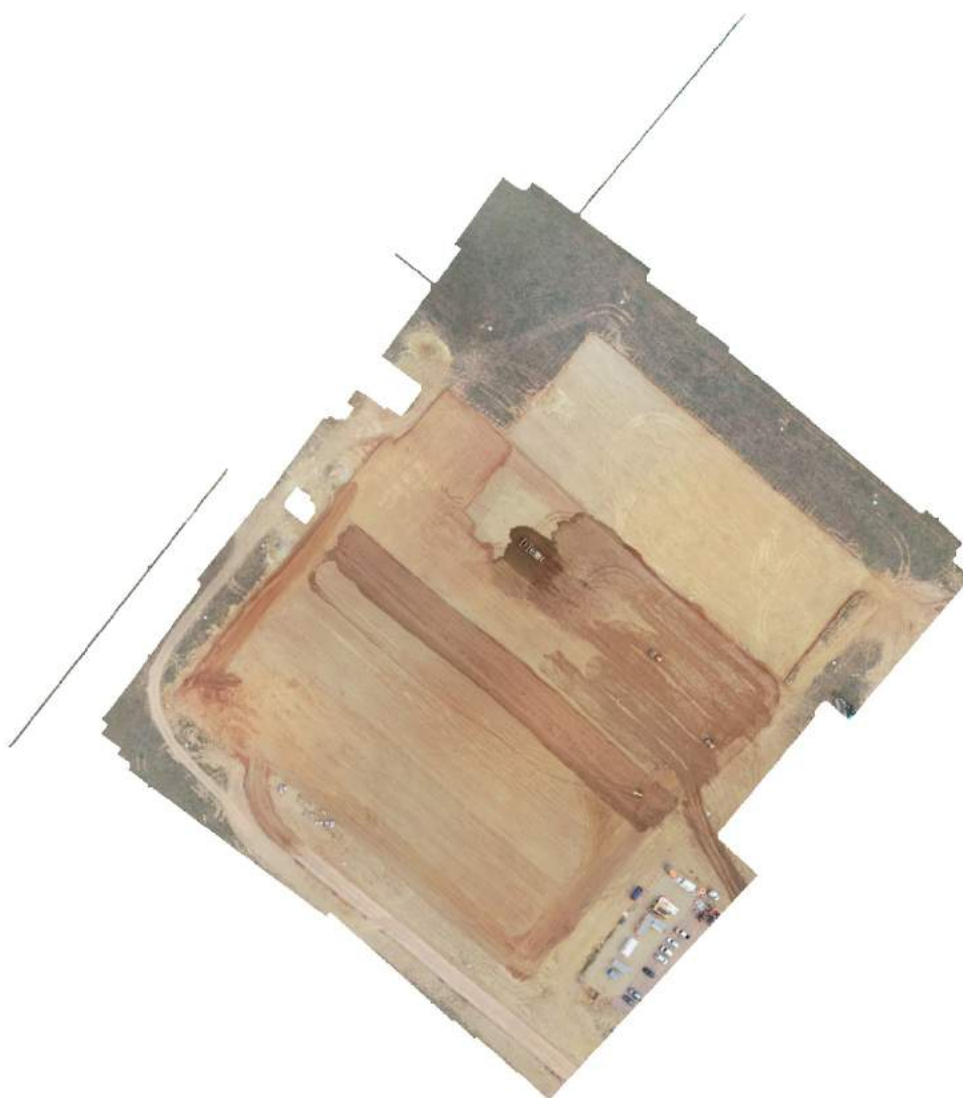
Modo de mapeado	Ortofoto
Modo de mezcla	Mosaico
Tamaño de textura	4,096 x 4,096
Realizar el relleno de agujeros	Sí
Tiempo de mapeado en UV	1 minuto 5 segundos
Tiempo de mezcla	4 minutos 7 segundos

DEM

Tamaño	10,850 x 10,909
Sistema de coordenadas	ETRS89 / UTM zone 29N (N-E) (EPSG::3041)
Parámetros de reconstrucción	
Datos fuente	Malla
Interpolación	Habilitada
Duración del procesamiento	2 minutos 20 segundos
Ortomosaico	
Tamaño	18,818 x 19,108
Sistema de coordenadas	ETRS89 / UTM zone 29N (N-E) (EPSG::3041)
Canales	3, uint8
Parámetros de reconstrucción	
Modo de mezcla	Mosaico
Superficie	Modelo digital de elevaciones
Realizar el relleno de agujeros	Sí
Duración del procesamiento	3 minutos 22 segundos
Software	
Versión	1.4.0 build 5076
Plataforma	Windows 64

Vuelo 3. Abril 2019

**Informe de procesamiento
30 junio 2019**



Datos del levantamiento

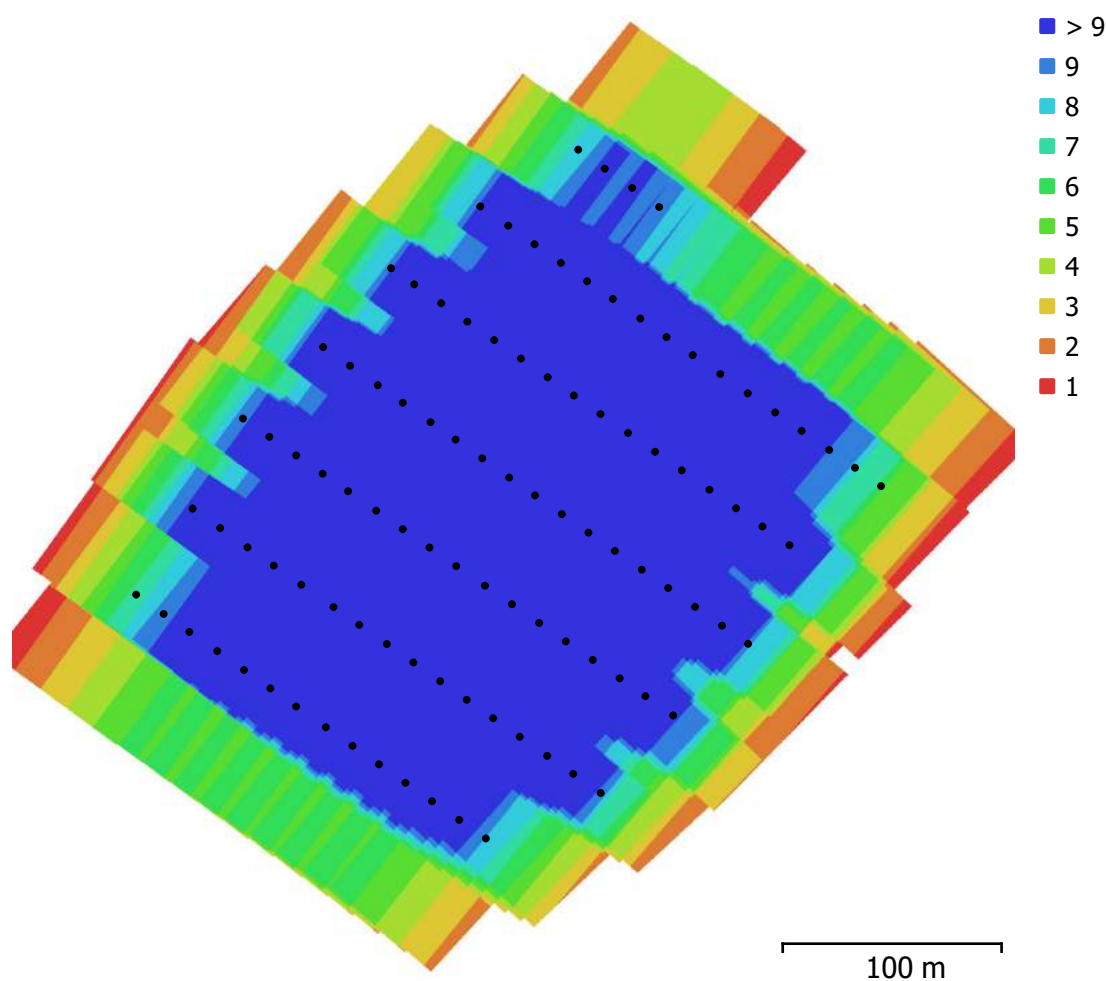


Fig. 1. Posiciones de cámaras y solapamiento de imágenes.

Número de imágenes: 100

Altitud media de vuelo: 92.5 m

Resolución en terreno: 2.37 cm/pix

Superficie cubierta: 0.112 km²

Posiciones de cámara: 100

Puntos de enlace: 52,874

Proyecciones: 392,852

Error de reproyección: 0.497 pix

Modelo de cámara	Resolución	Distancia focal	Tamaño de píxel	Precalibrada
FC6310 (8.8 mm)	5472 x 3648	8.8 mm	2.41 x 2.41 micras	No

Tabla 1. Cámaras.

Calibración de cámara

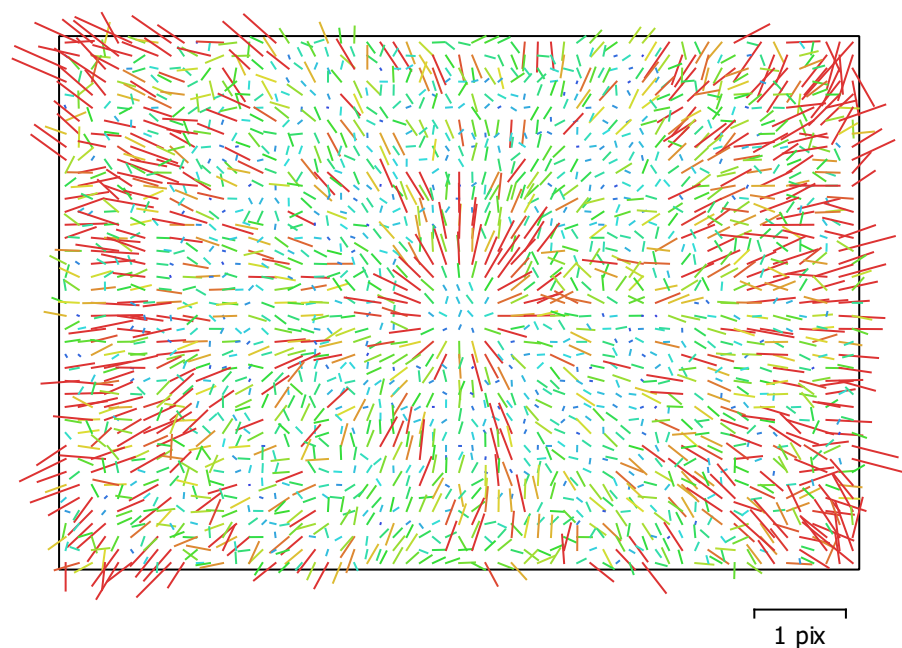


Fig. 2. Gráfico de residuales para FC6310 (8.8 mm).

FC6310 (8.8 mm)

100 imágenes

Tipo	Resolución	Distancia focal	Tamaño de píxel
Cuadro	5472 x 3648	8.8 mm	2.41 x 2.41 micras

	Valor	Error	F	Cx	Cy	B2	K1	K2	K3	K4	P1	P2
F	3513.91	7.1	1.00	0.49	0.73	0.08	0.25	-0.78	0.87	-0.91	0.63	0.59
Cx	-8.33616	0.21		1.00	0.37	0.01	0.14	-0.39	0.43	-0.45	0.30	0.28
Cy	10.8337	0.25			1.00	0.04	0.19	-0.57	0.64	-0.66	0.45	0.44
B2	0.996281	0.022				1.00	0.01	-0.06	0.07	-0.07	0.06	0.04
K1	0.00428703	6.3e-05					1.00	-0.78	0.65	-0.57	0.17	0.18
K2	-0.0413173	0.00042						1.00	-0.98	0.96	-0.49	-0.46
K3	0.0675194	0.00092							1.00	-0.99	0.55	0.52
K4	-0.0363103	0.00064								1.00	-0.58	-0.54
P1	0.00103963	2.9e-06									1.00	0.38
P2	0.000765905	2.2e-06										1.00

Tabla 2. Coeficientes de calibración y matriz de correlación.

Puntos de control terrestres

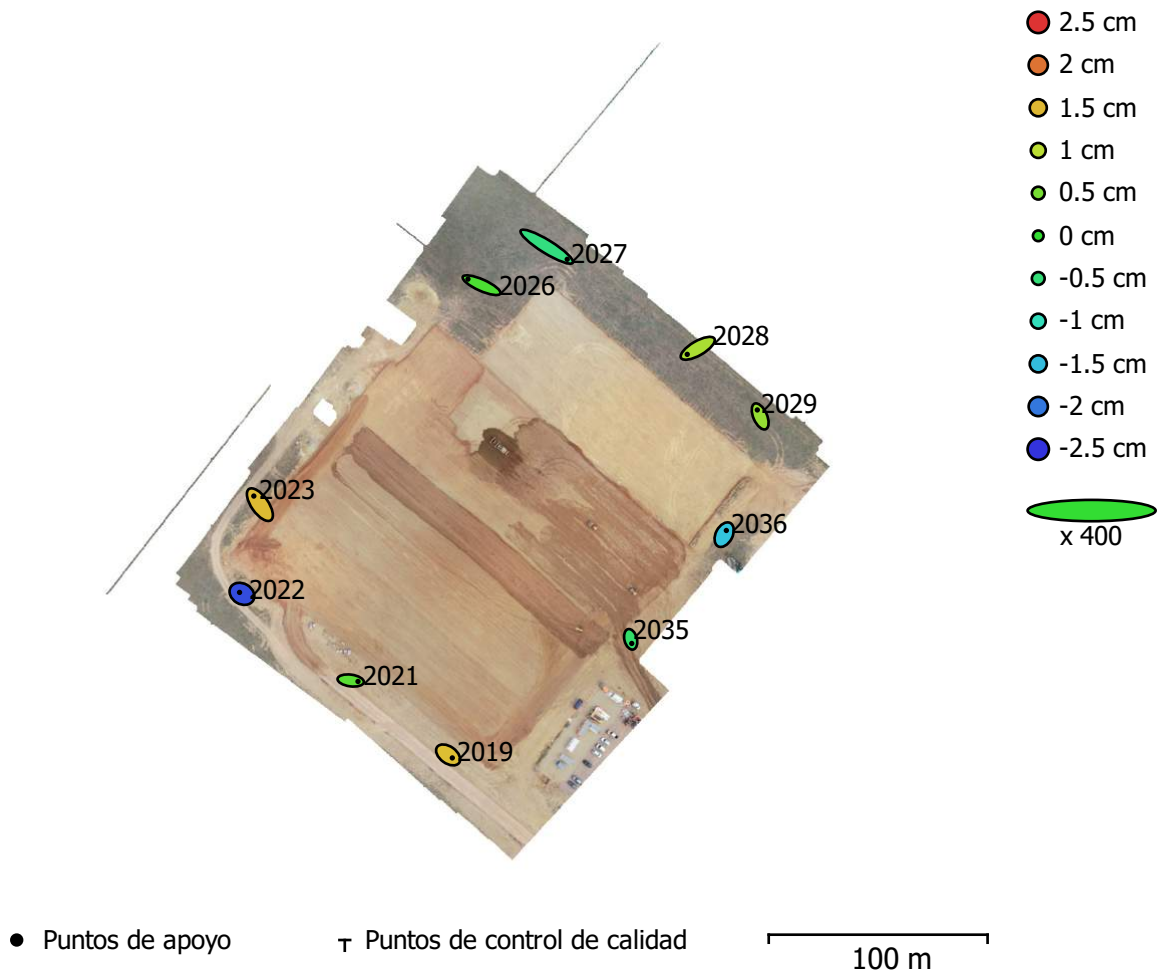


Fig. 3. Posiciones de puntos de apoyo y estimaciones de errores.

El color indica el error en Z mientras el tamaño y forma de la elipse representan el error en XY. Posiciones estimadas de puntos de apoyo se indican con los puntos negros, puntos de control - con cruzamiento.

Número	Error X (cm)	Error Y (cm)	Error Z (cm)	Error XY (cm)	Total (cm)
10	2.09466	1.43646	1.16808	2.53988	2.7956

Tabla 3. ECM de puntos de apoyo.

X - Este, Y - Norte, Z - Altitud.

Nombre	Error X (cm)	Error Y (cm)	Error Z (cm)	Total (cm)	Imagen (pix)
2019	0.954594	-0.68656	1.44562	1.86345	0.576 (11)
2021	1.6677	-0.220869	0.256072	1.70164	0.657 (12)
2022	-0.547084	0.3265	-2.31272	2.39887	0.724 (11)
2023	-1.38428	1.96263	1.49481	2.82888	0.656 (11)
2026	-3.10249	1.38101	0.18733	3.40114	0.534 (13)
2027	4.67624	-2.88833	-0.573832	5.52621	1.282 (16)
2028	-2.39564	-1.38416	0.854684	2.89577	0.859 (12)
2029	-0.654391	1.48021	0.714413	1.76907	0.591 (10)
2035	0.24784	-0.940313	-0.430545	1.06348	0.324 (12)
2036	0.496467	0.95637	-1.45428	1.80999	0.509 (17)
Total	2.09466	1.43646	1.16808	2.7956	0.734

Tabla 4. Puntos de apoyo.
X - Este, Y - Norte, Z - Altitud.

Modelo digital de elevaciones

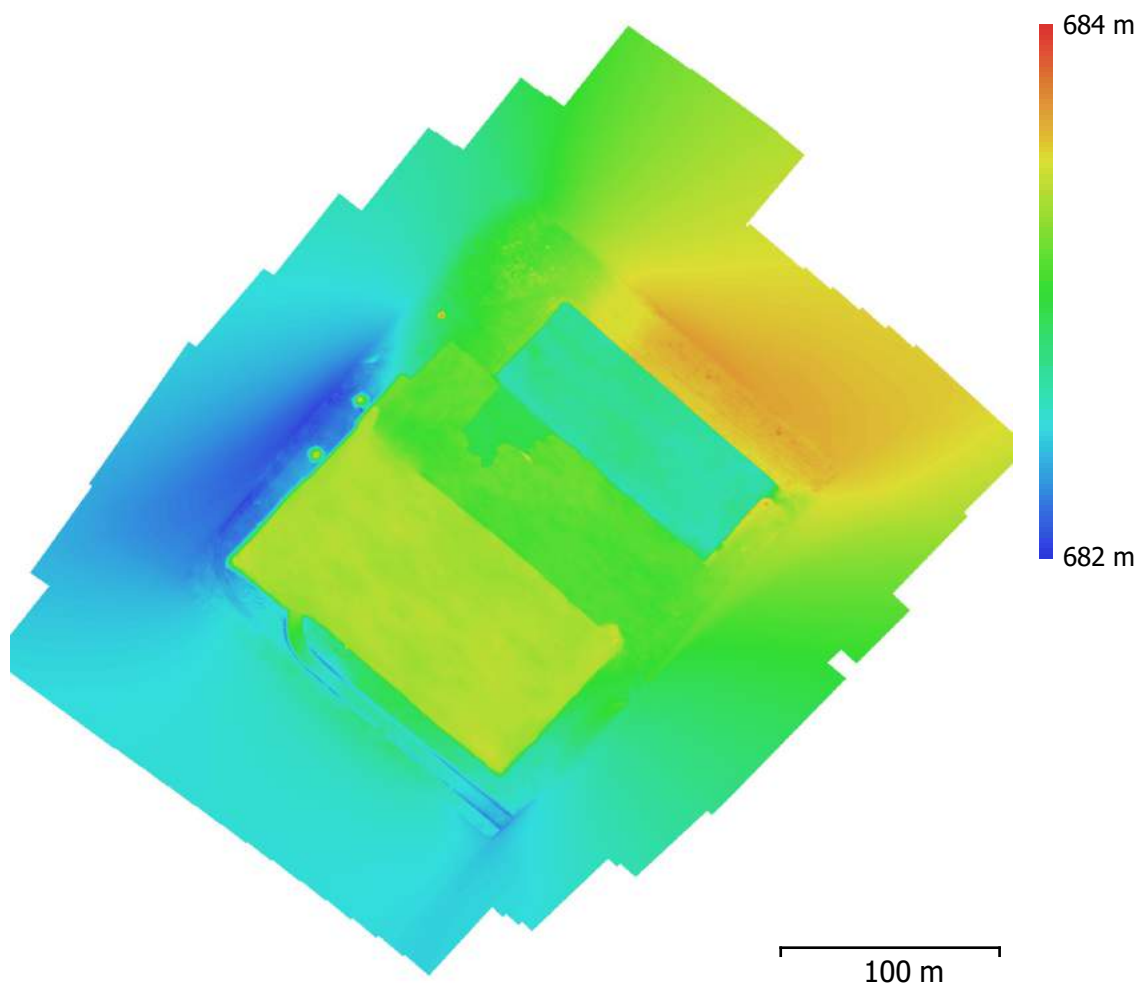


Fig. 4. Modelo digital de elevaciones.

Resolución: 4.74 cm/pix
Densidad de puntos: 445 puntos/m²

Parámetros de procesamiento

Generales

Cámaras	100
Cámaras orientadas	100
Marcadores	10

Formas

Polilíneas	43
Polígonos	2439

Sistema de coordenadas

Ángulo de rotación

ETRS89 / UTM zone 29N (N-E) (EPSG::3041)
Omega, Phi, Kappa

Nube de puntos

Puntos	52,874 de 56,088
RMS error de reproyección	0.215143 (0.496866 pix)
Error de reproyección máximo	1.09027 (9.04537 pix)
Tamaño promedio de puntos característicos	2.35714 pix
Superposición efectiva	7.59382

Parámetros de orientación

Precisión	Alta
Pre-selección genérica	Sí
Pre-selección de referencia	Sí
Puntos claves por foto	40,000
Puntos de enlace por foto	4,000
Restricción de máscara activa	No
Tiempo búsqueda de puntos homólogos	16 minutos 26 segundos

Parámetros de optimización

Parámetros	f, b2, cx, cy, k1-k4, p1, p2
Compensar rolling-shutter	No
Tiempo de optimización	5 segundos

Nube de puntos densa

Puntos	21,179,257
--------	------------

Parámetros de reconstrucción

Calidad	Alta
Filtrado de profundidad	Agresivo
Tiempo de generación de mapas de profundidad	4 horas 20 minutos
Tiempo de generación de nube de puntos densa	19 minutos 43 segundos

Modelo

Caras	4,199,890
Vértices	2,103,428
Textura	4,096 x 4,096, uint8

Parámetros de reconstrucción

Tipo de superficie	Bajorrelieve / terreno
Datos fuente	Densa
Interpolación	Habilitada
Calidad	Alta
Filtrado de profundidad	Agresivo
Número de caras	4,235,851
Duración del procesamiento	1 minuto 41 segundos

Parámetros de texturizado

Modo de mapeado	Genérico
Modo de mezcla	Mosaico
Tamaño de textura	4,096 x 4,096
Realizar el relleno de agujeros	Sí
Tiempo de mapeado en UV	11 minutos 26 segundos
Tiempo de mezcla	3 minutos 53 segundos

DEM

Tamaño	14,660 x 14,602
Sistema de coordenadas	ETRS89 / UTM zone 29N (N-E) (EPSG::3041)

Parámetros de reconstrucción

Datos fuente
Interpolación
Duración del procesamiento

Malla
Habilitada
2 minutos 10 segundos

Ortomosaico

Tamaño
Sistema de coordenadas
Canales

19,331 x 18,906
ETRS89 / UTM zone 29N (N-E) (EPSG::3041)
3, uint8

Parámetros de reconstrucción

Modo de mezcla
Superficie
Realizar el relleno de agujeros
Duración del procesamiento

Mosaico
Malla
Sí
8 minutos 53 segundos

Software

Versión
Plataforma

1.4.0 build 5076
Windows 64

Vuelo 4. Mayo 2019

**Informe de procesamiento
30 junio 2019**



Datos del levantamiento

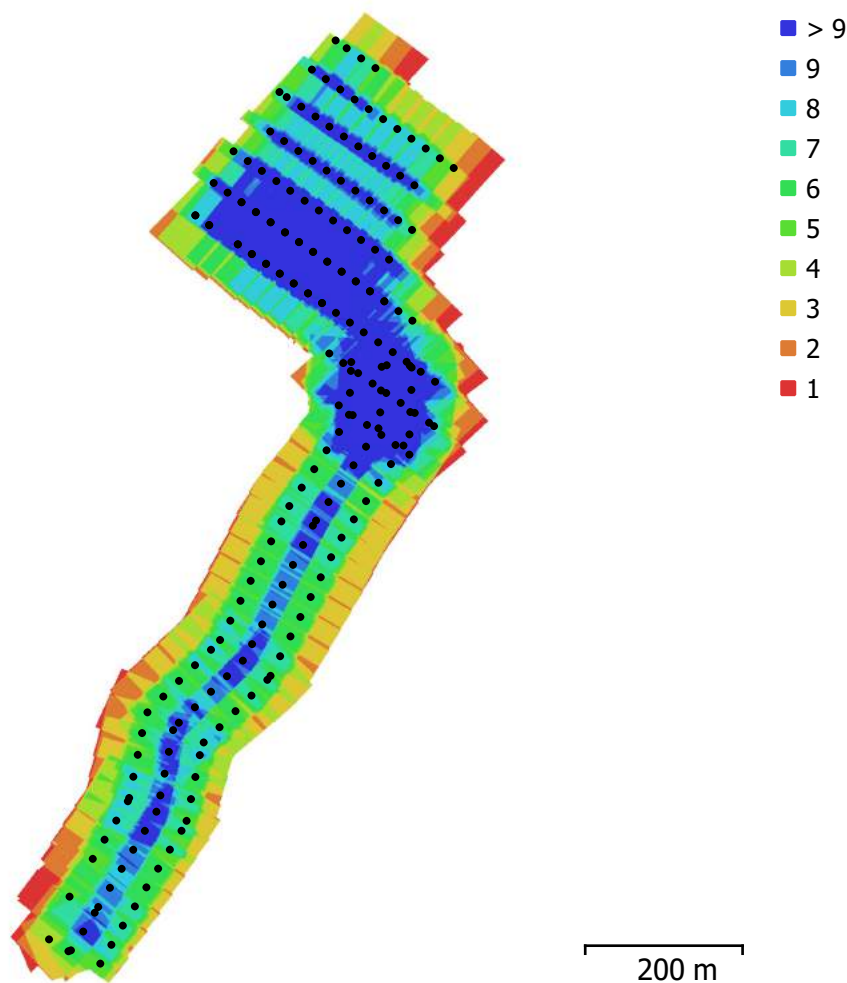


Fig. 1. Posiciones de cámaras y solapamiento de imágenes.

Número de imágenes: 218

Altitud media de vuelo:90.4 m

Resolución en terreno: 2.28 cm/pix

Superficie cubierta: 0.275 km²

Posiciones de cámara: 218

Puntos de enlace: 200,740

Proyecciones: 867,161

Error de reproyección: 0.451 pix

Modelo de cámara	Resolución	Distancia focal	Tamaño de píxel	Precalibrada
FC6310 (8.8 mm)	4864 x 3648	8.8 mm	2.61 x 2.61 micras	No
FC6310 (8.8 mm)	4864 x 3648	8.8 mm	2.61 x 2.61 micras	No

Tabla 1. Cámaras.

Calibración de cámara

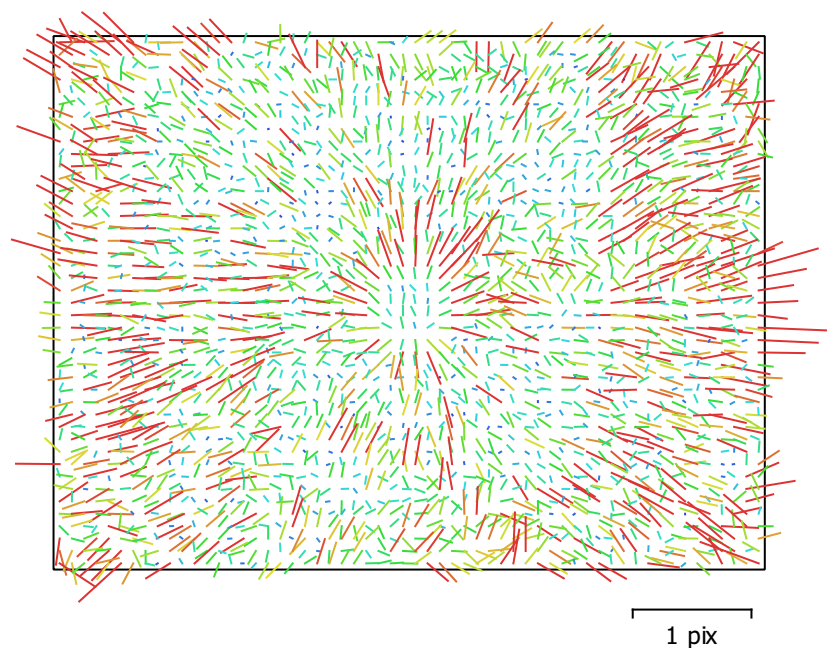


Fig. 2. Gráfico de residuales para FC6310 (8.8 mm).

FC6310 (8.8 mm)

147 imágenes

Tipo	Resolución	Distancia focal	Tamaño de píxel
Cuadro	4864 x 3648	8.8 mm	2.61 x 2.61 micras

	Valor	Error	F	Cx	Cy	B1	B2	K1	K2	K3	K4	P1	P2
F	3626.85	1.9	1.00	0.25	0.46	-0.00	0.01	0.14	-0.40	0.51	-0.56	0.31	0.20
Cx	-2.21187	0.095		1.00	0.16	0.02	-0.16	0.05	-0.11	0.13	-0.15	0.18	0.05
Cy	17.2728	0.095			1.00	0.13	0.01	0.07	-0.19	0.24	-0.26	0.17	0.17
B1	-0.502796	0.006				1.00	-0.00	0.03	-0.03	0.02	-0.02	0.03	-0.03
B2	0.348822	0.0061					1.00	-0.01	0.00	-0.00	0.00	-0.00	0.06
K1	0.00968956	6.2e-05						1.00	-0.94	0.87	-0.80	0.04	0.03
K2	-0.0772395	0.00038							1.00	-0.98	0.95	-0.12	-0.08
K3	0.146777	0.00087								1.00	-0.99	0.15	0.10
K4	-0.0939007	0.00067									1.00	-0.17	-0.11
P1	0.00112865	1.8e-06										1.00	0.11
P2	0.000850421	1.7e-06											1.00

Tabla 2. Coeficientes de calibración y matriz de correlación.

Calibración de cámara

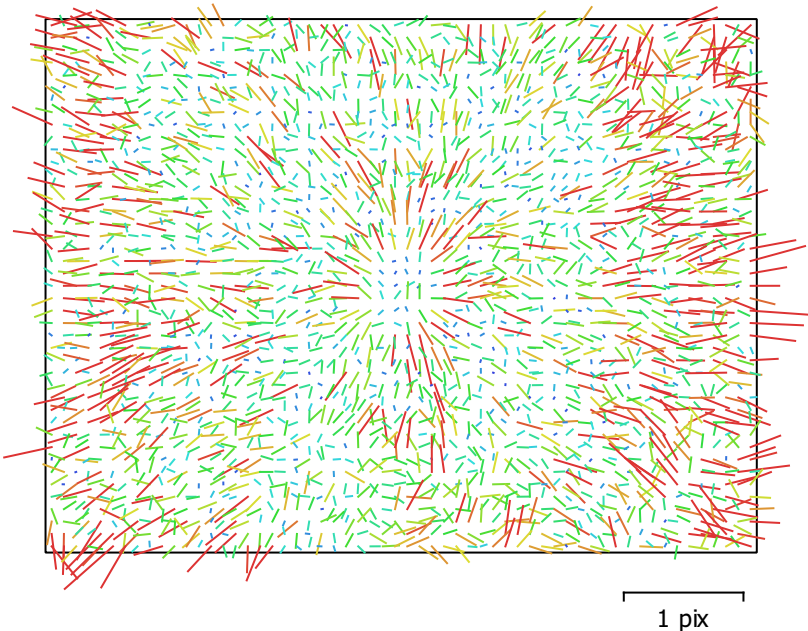


Fig. 3. Gráfico de residuales para FC6310 (8.8 mm).

FC6310 (8.8 mm)

71 imágenes

Tipo	Resolución	Distancia focal	Tamaño de píxel
Cuadro	4864 x 3648	8.8 mm	2.61 x 2.61 micras

	Valor	Error	F	Cx	Cy	B1	B2	K1	K2	K3	K4	P1	P2
F	3622.97	8.2	1.00	0.39	0.75	0.09	0.01	0.32	-0.78	0.86	-0.89	0.47	0.34
Cx	1.39555	0.26		1.00	0.27	-0.01	-0.11	0.12	-0.30	0.34	-0.35	0.24	0.15
Cy	15.3577	0.32			1.00	0.15	0.02	0.24	-0.59	0.65	-0.67	0.35	0.37
B1	-0.112649	0.021				1.00	0.02	0.04	-0.08	0.09	-0.09	0.02	0.03
B2	-0.273042	0.021					1.00	0.00	-0.01	0.01	-0.01	0.01	0.01
K1	0.00918288	0.0001						1.00	-0.82	0.72	-0.66	0.16	0.13
K2	-0.075036	0.00083							1.00	-0.99	0.97	-0.37	-0.27
K3	0.144617	0.0022								1.00	-1.00	0.40	0.29
K4	-0.0929753	0.0019									1.00	-0.42	-0.30
P1	0.0010753	3.7e-06										1.00	0.19
P2	0.000780358	3.7e-06											1.00

Tabla 3. Coeficientes de calibración y matriz de correlación.

Puntos de control terrestres

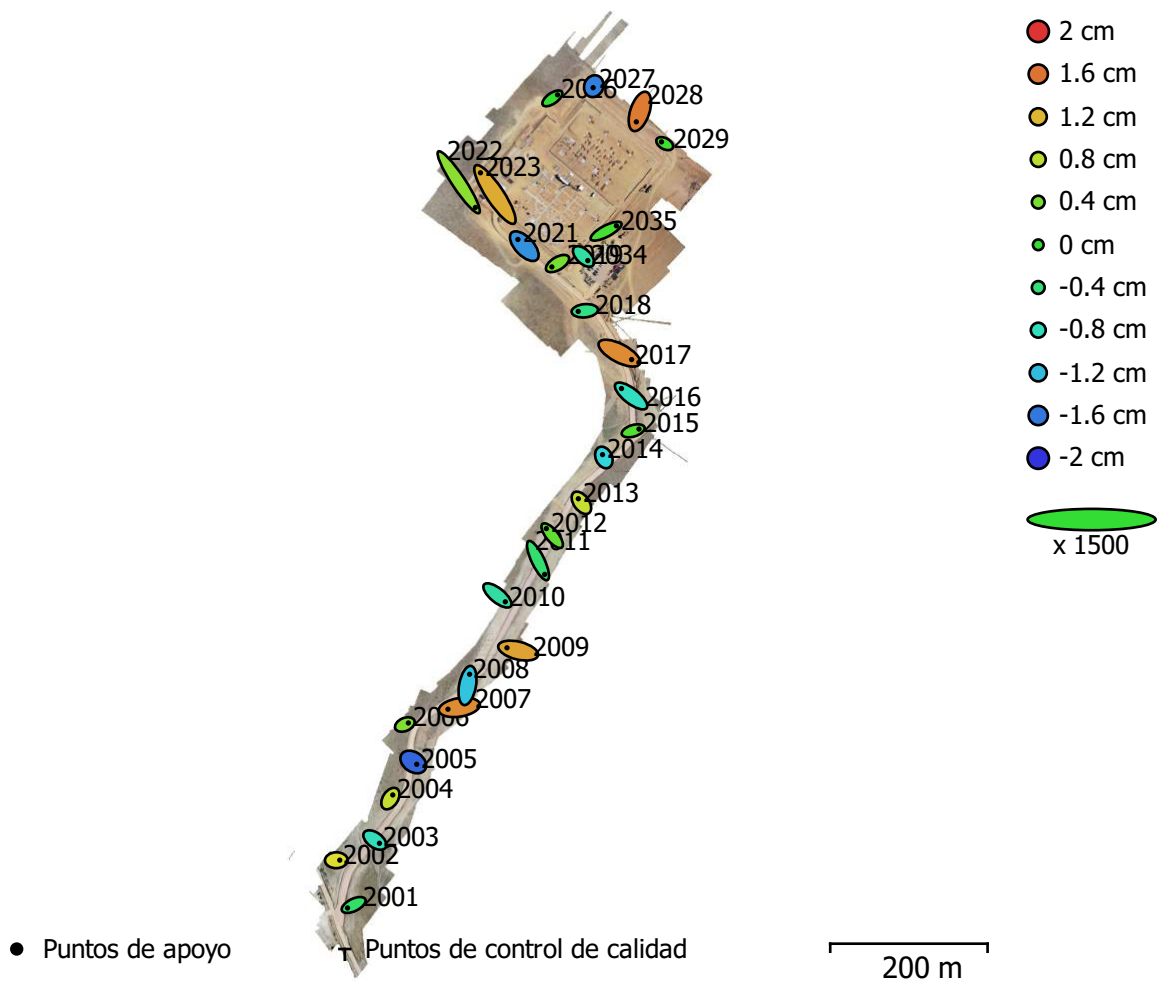


Fig. 4. Posiciones de puntos de apoyo y estimaciones de errores.

El color indica el error en Z mientras el tamaño y forma de la elipse representan el error en XY. Posiciones estimadas de puntos de apoyo se indican con los puntos negros, puntos de control - con cruzamiento.

Número	Error X (cm)	Error Y (cm)	Error Z (cm)	Error XY (cm)	Total (cm)
28	1.26629	1.40369	0.964042	1.89046	2.12208

Tabla 4. ECM de puntos de apoyo.

X - Este, Y - Norte, Z - Altitud.

Nombre	Error X (cm)	Error Y (cm)	Error Z (cm)	Total (cm)	Imagen (pix)
2001	-1.0366	-0.511768	-0.313147	1.19771	0.766 (8)
2002	0.578007	0.0141082	0.980537	1.13831	0.240 (5)
2003	0.776719	-0.554575	-0.81169	1.25287	0.553 (7)
2004	0.407326	0.618041	0.828362	1.11089	0.619 (9)
2005	0.583827	-0.389959	-1.71453	1.85271	0.462 (11)
2006	0.599606	0.258955	0.444904	0.790269	0.381 (6)
2007	-1.92628	-0.306638	1.46896	2.44181	0.452 (9)
2008	0.347805	1.90704	-1.15893	2.25852	0.573 (10)
2009	-1.89609	0.469414	1.34692	2.3727	0.640 (9)
2010	1.3347	-1.07935	-0.654811	1.83717	0.481 (9)
2011	1.13446	-2.33905	-0.369723	2.62581	0.589 (9)
2012	-0.988933	1.19659	0.266742	1.57511	0.403 (10)
2013	-0.517093	0.694796	0.86403	1.22339	0.443 (10)
2014	-0.226503	0.48342	-1.05438	1.18183	0.363 (13)
2015	0.988609	0.303187	0.165988	1.04729	0.423 (16)
2016	-1.62424	1.26116	-0.825161	2.21575	0.569 (21)
2017	2.07472	-1.08452	1.45539	2.75659	0.611 (16)
2018	-1.11491	-0.103193	-0.485819	1.22053	0.437 (8)
2019	-0.963025	-0.575176	0.392293	1.18833	0.312 (14)
2021	-1.07591	1.13688	-1.4657	2.14438	0.334 (16)
2022	2.82647	-4.27464	0.507267	5.14965	0.443 (12)
2023	-2.44835	3.67748	1.29711	4.60443	0.235 (6)
2026	0.873056	0.602397	-0.0085834	1.06075	0.345 (8)
2027	-0.105538	-0.256869	-1.56772	1.59213	0.580 (11)
2028	-0.59756	-1.76914	1.5709	2.44021	0.709 (8)
2029	-0.540616	0.297899	0.0619156	0.620357	0.651 (8)
2034	0.728339	-0.694943	-0.652333	1.19957	0.384 (7)
2035	1.74442	0.91868	0.104414	1.97431	0.634 (8)
Total	1.26629	1.40369	0.964042	2.12208	0.505

Tabla 5. Puntos de apoyo.
X - Este, Y - Norte, Z - Altitud.

Modelo digital de elevaciones

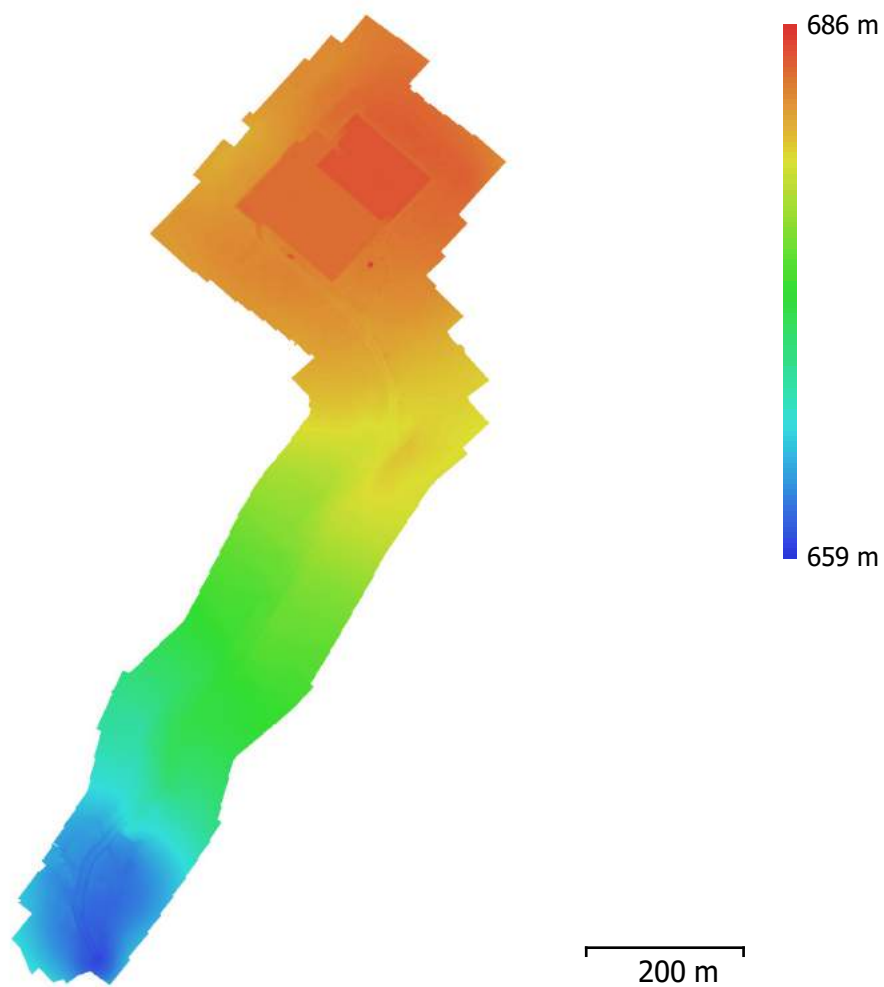


Fig. 5. Modelo digital de elevaciones.

Resolución: 4.56 cm/pix
Densidad de puntos: 480 puntos/m²

Parámetros de procesamiento

Generales

Cámaras	218
Cámaras orientadas	218
Marcadores	28
Sistema de coordenadas	ETRS89 / UTM zone 29N (N-E) (EPSG::3041)
Ángulo de rotación	Guiñada, cabeceo, alabeo

Nube de puntos

Puntos	200,740 de 208,193
RMS error de reproyección	0.187985 (0.45145 pix)
Error de reproyección máximo	1.36983 (11.7018 pix)
Tamaño promedio de puntos característicos	2.42211 pix
Superposición efectiva	4.41356

Parámetros de optimización

Parámetros	f, b1, b2, cx, cy, k1-k4, p1, p2
Compensar rolling-shutter	No
Tiempo de optimización	6 segundos

Nube de puntos densa

Puntos	59,864,168
--------	------------

Parámetros de reconstrucción

Calidad	Alta
Filtrado de profundidad	Agresivo
Tiempo de generación de mapas de profundidad	5 horas 23 minutos
Tiempo de generación de nube de puntos densa	21 minutos 59 segundos

Modelo

Caras	11,745,122
Vértices	5,883,095
Textura	4,096 x 4,096, uint8

Parámetros de reconstrucción

Tipo de superficie	Bajorrelieve / terreno
Datos fuente	Densa
Interpolación	Habilitada
Calidad	Alta
Filtrado de profundidad	Agresivo
Número de caras	11,972,833
Duración del procesamiento	5 minutos 50 segundos

Parámetros de texturizado

Modo de mapeado	Ortofoto
Modo de mezcla	Mosaico
Tamaño de textura	4,096 x 4,096
Realizar el relleno de agujeros	Sí
Tiempo de mapeado en UV	3 minutos 8 segundos
Tiempo de mezcla	9 minutos 41 segundos

DEM

Tamaño	19,805 x 36,751
Sistema de coordenadas	ETRS89 / UTM zone 29N (N-E) (EPSG::3041)

Parámetros de reconstrucción

Datos fuente	Nube de puntos densa
Interpolación	Habilitada
Duración del procesamiento	6 minutos 23 segundos

Ortomosaico

Tamaño	26,529 x 55,871
Sistema de coordenadas	ETRS89 / UTM zone 29N (N-E) (EPSG::3041)
Canales	3, uint8

Parámetros de reconstrucción

Modo de mezcla	Mosaico
Superficie	Modelo digital de elevaciones

Realizar el relleno de agujeros
Duración del procesamiento

Sí
7 minutos 53 segundos

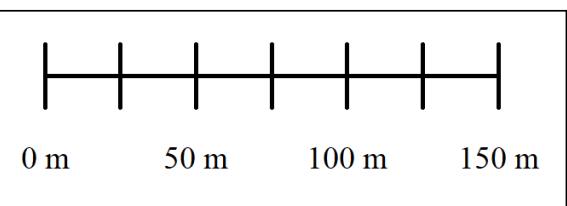
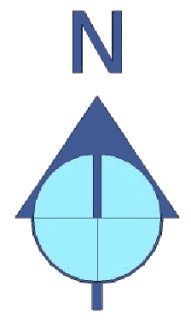
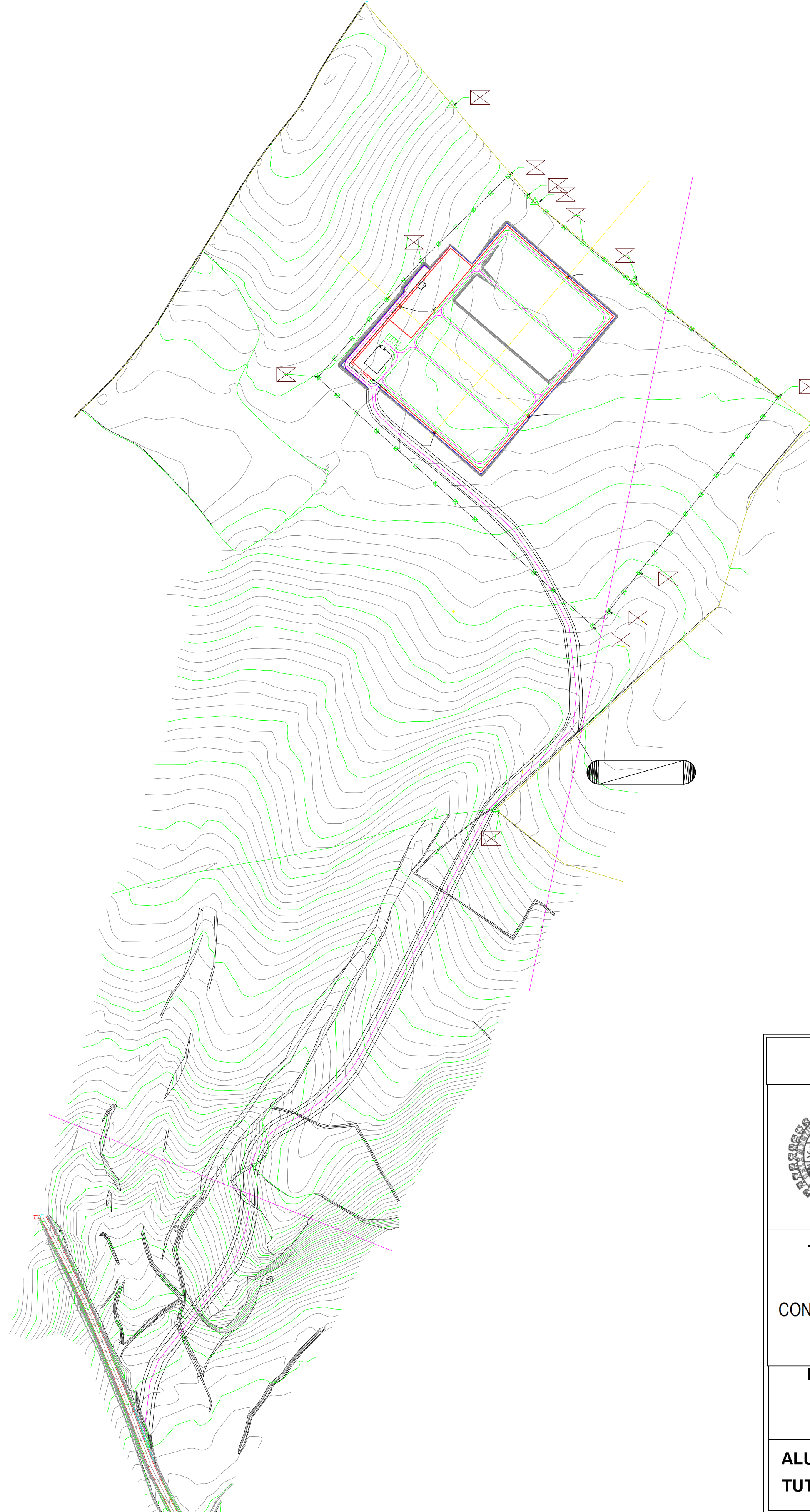
Software

Versión
Plataforma

1.4.0 build 5076
Windows 64

Anexo II. Documentos gráficos obtenidos

- ✓ PLANO 1. SITUACIÓN GENERAL
- ✓ PLANO 2. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO INICIAL. GPS
- ✓ PLANO 3. PUNTOS DE APOYO TERRESTRE
- ✓ PLANO 4. CURVAS DE NIVEL. VUELO 1. FOTOGRAMETRÍA
- ✓ PLANO 5. CURVAS DE NIVEL. VUELO 2. FOTOGRAMETRÍA
- ✓ PLANO 6. CURVAS DE NIVEL. VUELO 3. FOTOGRAMETRÍA
- ✓ PLANO 7. CURVAS DE NIVEL. VUELO 4. FOTOGRAMETRÍA
- ✓ PLANO 8. MODELO DIGITAL DEL TERRENO INICIAL. GPS
- ✓ PLANO 9. MODELO DIGITAL DEL TERRENO. VUELO 1. FOTOGRAMETRÍA
- ✓ PLANO 10. MODELO DIGITAL DEL TERRENO. VUELO 2. FOTOGRAMETRÍA
- ✓ PLANO 11. MODELO DIGITAL DEL TERRENO. VUELO 3. FOTOGRAMETRÍA
- ✓ PLANO 12. MODELO DIGITAL DEL TERRENO. VUELO 4. FOTOGRAMETRÍA
- ✓ PLANO 13. ORTOMOSÁICO. VUELO 1. FOTOGRAMETRÍA
- ✓ PLANO 14. ORTOMOSÁICO. VUELO 2. FOTOGRAMETRÍA
- ✓ PLANO 15. ORTOMOSÁICO. VUELO 3. FOTOGRAMETRÍA
- ✓ PLANO 16. ORTOMOSÁICO. VUELO 4. FOTOGRAMETRÍA
- ✓ PLANO 17. VOLÚMENES. FOTOGRAMETRÍA. MDT VUELO 3 – MDT VUELO 2
- ✓ PLANO 18. VOLÚMENES. FOTOGRAMETRÍA. MDT VUELO 4 – MDT VUELO 3



MÁSTER UNIVERSITARIO GEOTECNOLOGÍAS CARTOGRÁFICAS



ESCUELA POLITÉCNICA
SUPERIOR DE ÁVILA



TRABAJO FIN DE MÁSTER:

APLICACIÓN DE LAS GEOTECNOLOGÍAS CARTOGRÁFICAS PARA EL SEGUIMIENTO
CONSTRUCTIVO DEL MOVIMIENTO DE TIERRAS DE UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA Y SU CAMINO
DE ACCESO

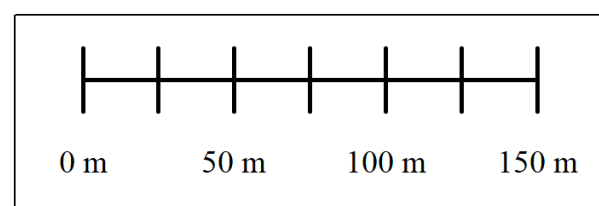
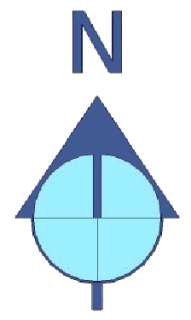
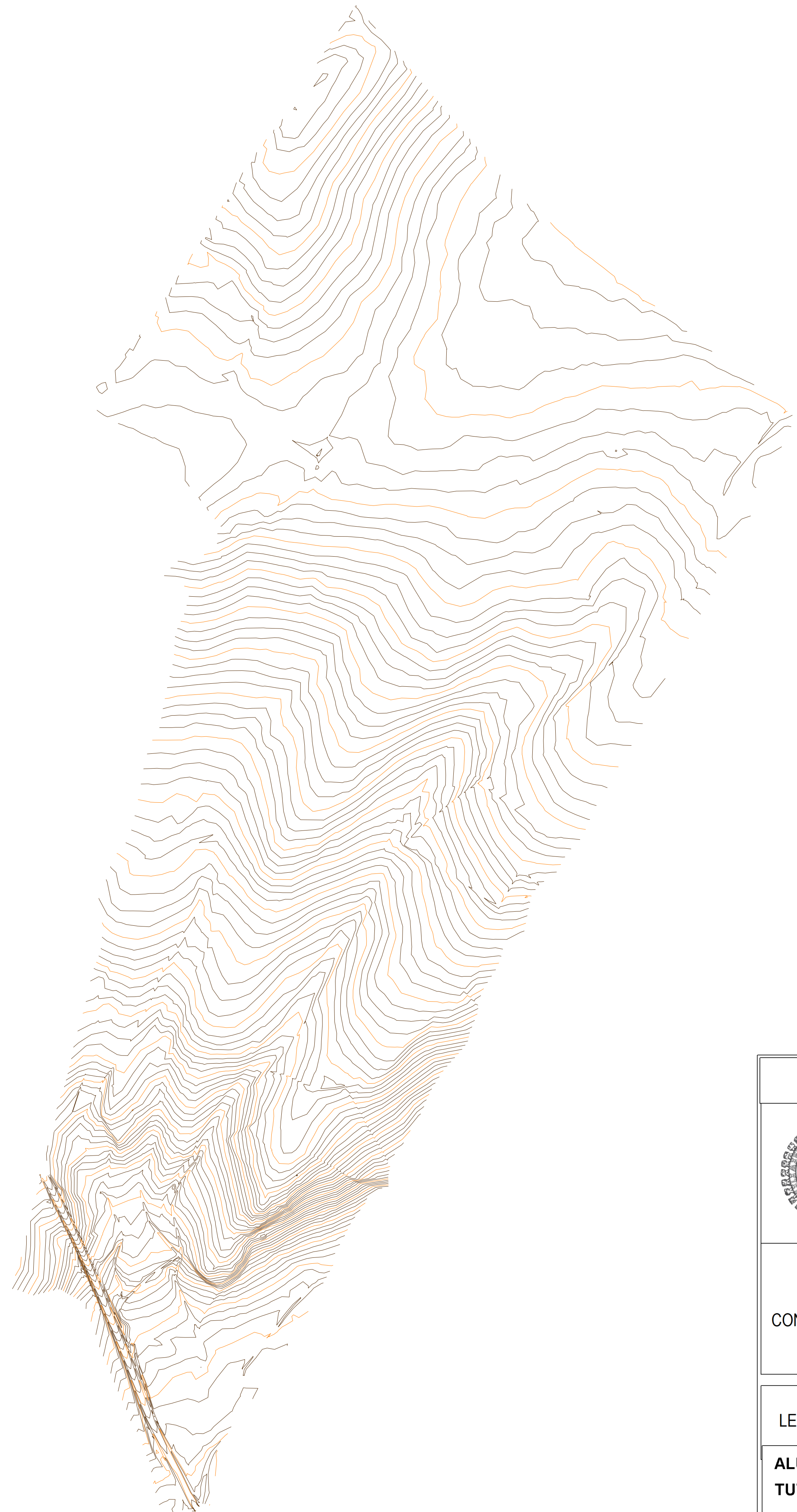
PLANO:
SITUACIÓN GENERAL

Nº PLANO: 1 **ESCALA:** 1 / 2500

HOJA: 1 DE 1

ALUMNO: LUCIO LÓPEZ CIFUENTES
TUTOR: D. DIEGO GONZÁLEZ AGUILERA

JUNIO-2019



MÁSTER UNIVERSITARIO GEOTECNOLOGÍAS CARTOGRÁFICAS



ESCUELA POLITÉCNICA
SUPERIOR DE ÁVILA



TRABAJO FIN DE MÁSTER:

APLICACIÓN DE LAS GEOTECNOLOGÍAS CARTOGRÁFICAS PARA EL SEGUIMIENTO
CONSTRUCTIVO DEL MOVIMIENTO DE TIERRAS DE UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA Y SU CAMINO
DE ACCESO

PLANO:

LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO INICIAL. GPS

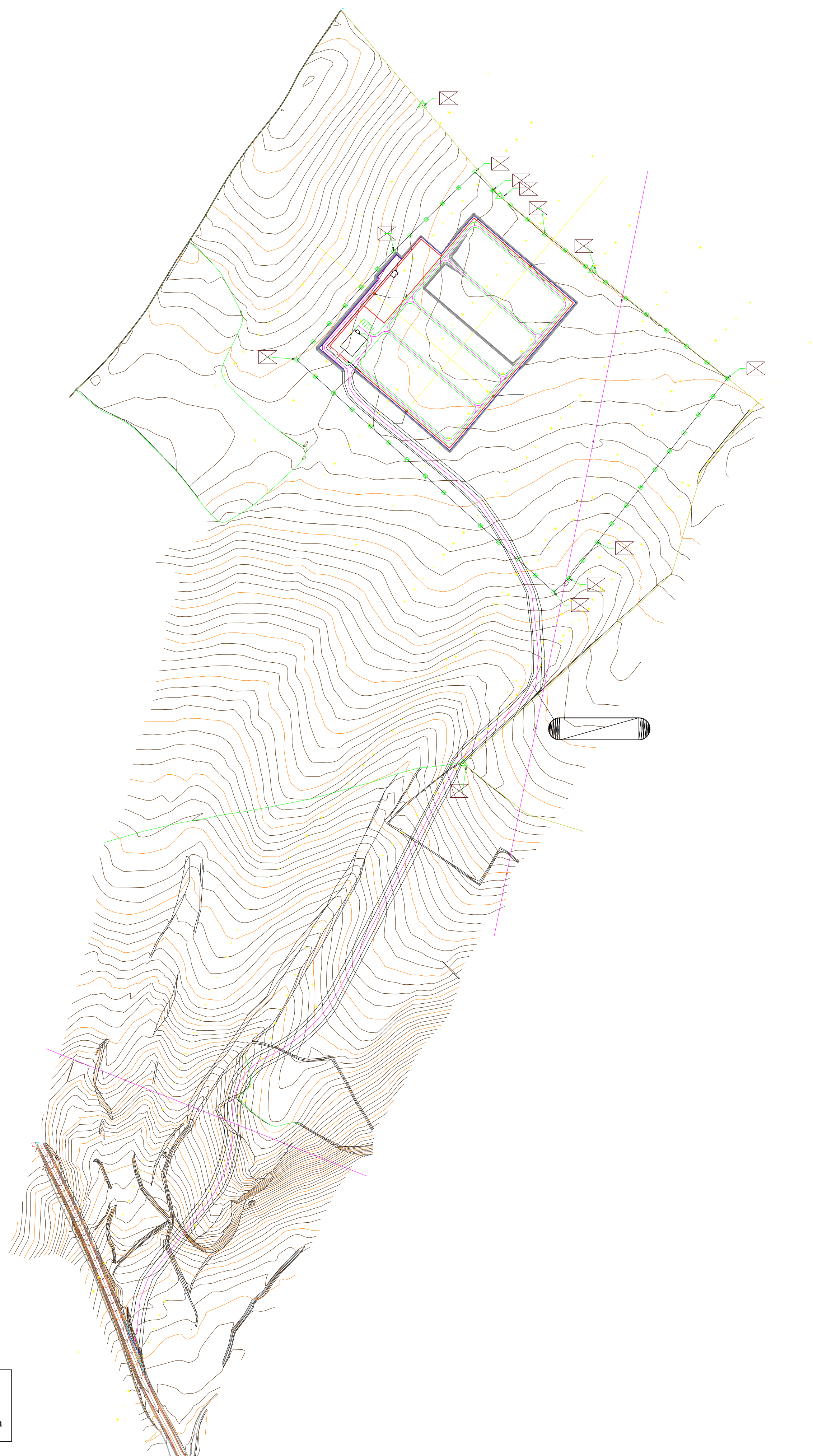
Nº PLANO: 2

HOJA: 1 DE 1

ESCALA: 1 / 2500

ALUMNO: LUCIO LÓPEZ CIFUENTES
TUTOR: D. DIEGO GONZÁLEZ AGUILERA

JUNIO-2019



PUNTOS DE APOYO TERRESTRE		
VUELO INICIAL		
5001	706.809.882	4.500.966.074 660.574
5003	706.853.047	4.501.185.805 667.373
5005	706.870.538	4.501.351.138 672.658
5007	706.936.186	4.501.428.541 674.374
5009	707.153.096	4.501.883.441 683.077
5011	707.120.900	4.501.996.973 683.703
5013	707.155.526	4.501.727.842 681.252
5015	706.779.094	4.500.942.389 661.056
5017	706.829.272	4.501.088.726 662.994
5019	707.007.992	4.501.435.276 674.222
5021	707.083.083	4.501.515.576 677.812
5023	707.189.262	4.501.680.069 680.001
5025	707.045.377	4.501.785.672 682.076
5027	707.004.188	4.502.018.116 681.892
5029	707.214.375	4.501.974.359 683.837
5707	706.936.203	4.501.428.581 673.759
5907	706.937.156	4.501.429.032 673.704
5914	707.277.270	4.501.788.017 682.217

MÁSTER UNIVERSITARIO GEOTECNOLOGÍAS CARTOGRÁFICAS



ESCUELA POLITÉCNICA
SUPERIOR DE ÁVILA



TRABAJO FIN DE MÁSTER:

APLICACIÓN DE LAS GEOTECNOLOGÍAS CARTOGRÁFICAS PARA EL SEGUIMIENTO CONSTRUCTIVO DEL MOVIMIENTO DE TIERRAS DE UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA Y SU CAMINO DE ACCESO

PLANO:

Nº PLANO: 3

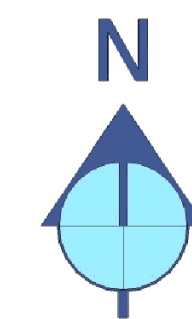
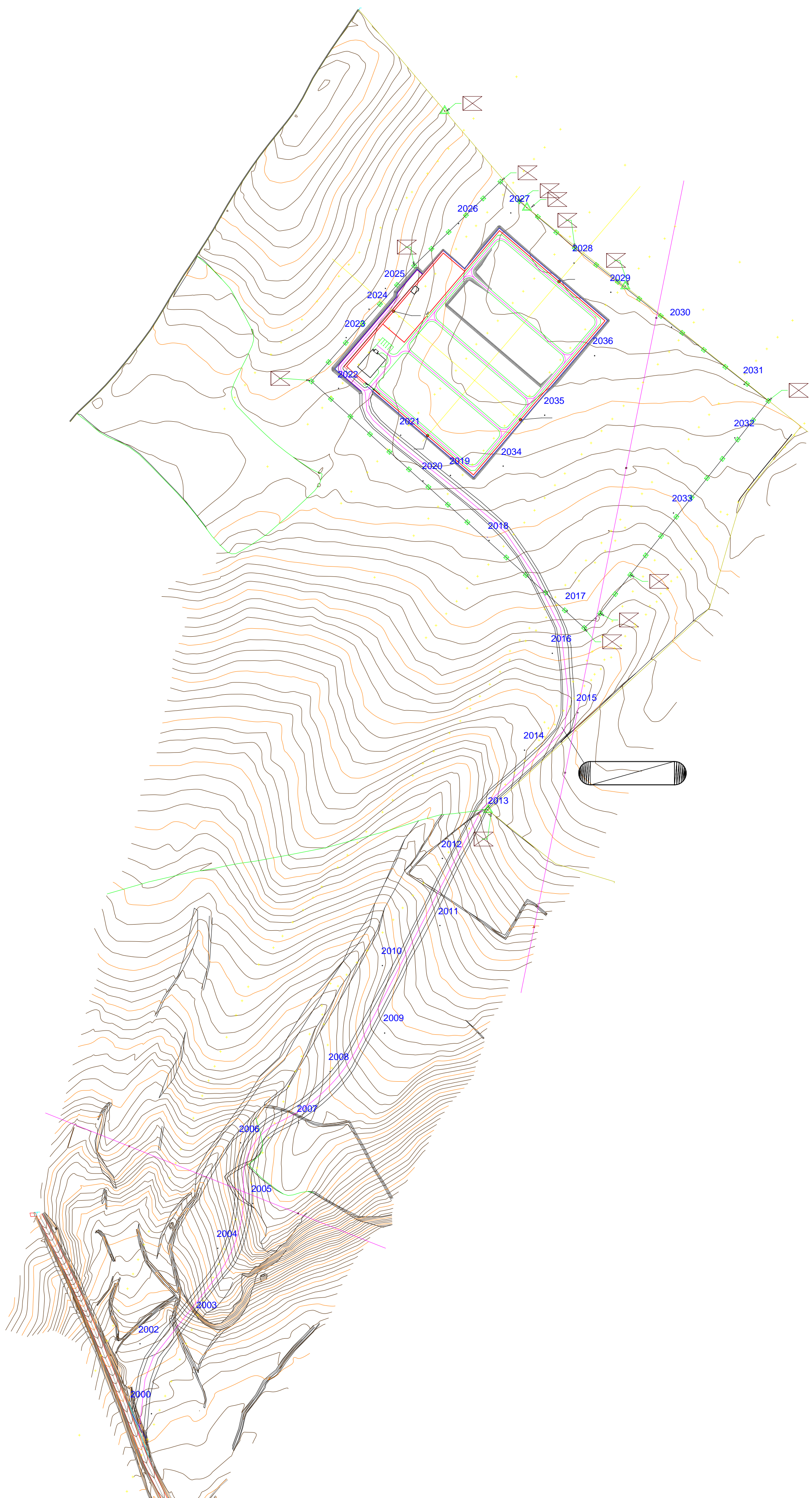
ESCALA: 1 / 2500

PUNTOS DE APOYO TERRESTRE
VUELO 1


HOJA: 1 DE 2

ALUMNO: **LUCIO LÓPEZ CIFUENTES**
TUTOR: **D. DIEGO GONZÁLEZ AGUILERA**

JUNIO-2019




PUNTOS DE APOYO TERRESTRE VUELOS 2, 3 Y 4				
2000	706777.074	4501015.999	661.883	BR
2002	706784.002	4501072.142	662.637	BR
2004	706851.413	4501155.037	666.871	BR
2006	706871.245	4501246.509	669.106	BR
2008	706949.032	4501308.418	672.038	BR
2010	706994.415	4501400.521	673.305	BR
2012	707046.602	4501493.535	676.195	BR
2014	707118.020	4501587.543	678.731	BR
2016	707142.129	4501671.526	680.202	BR
2018	707087.123	4501769.584	681.972	BR
2020	707029.774	4501821.340	682.584	BR
2022	706956.387	4501901.669	682.270	BR
2024	706982.825	4501970.400	682.016	BR
2026	707060.791	4502044.797	683.014	BR
2028	707160.981	4502010.454	683.932	BR
2030	707245.761	4501954.818	683.846	BR
2032	707300.816	4501858.707	682.780	BR
2034	707099.305	4501834.177	682.596	BR
2036	707178.816	4501929.961	683.452	BR




VNIVERSIDAD D SALA MANCA

Campus de Ávila



ESCUELA POLITÉCNICA

SUPERIOR DE ÁVILA



TRABAJO FIN DE MÁSTER:

APLICACIÓN DE LAS GEOTECNOLOGÍAS CARTOGRÁFICAS PARA EL SEGUIMIENTO CONSTRUCTIVO DEL MOVIMIENTO DE TIERRAS DE UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA Y SU CAMINO DE ACCESO

PLANO:

PUNTOS DE APOYO TERRESTRES.
VUELOS 2, 3 Y 4

Nº PLANO:

3

ESCALA:


1 / 2500

ALUMNO:

TUTOR:

LUCIO LÓPEZ CIFUENTES

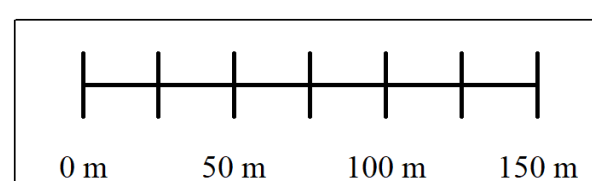
D. DIEGO GONZÁLEZ AGUILERA



JUNIO-2019



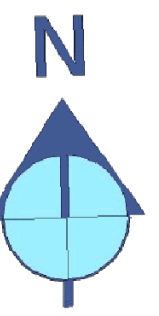
- Contour Line, Intermediate
- Contour Line, Major

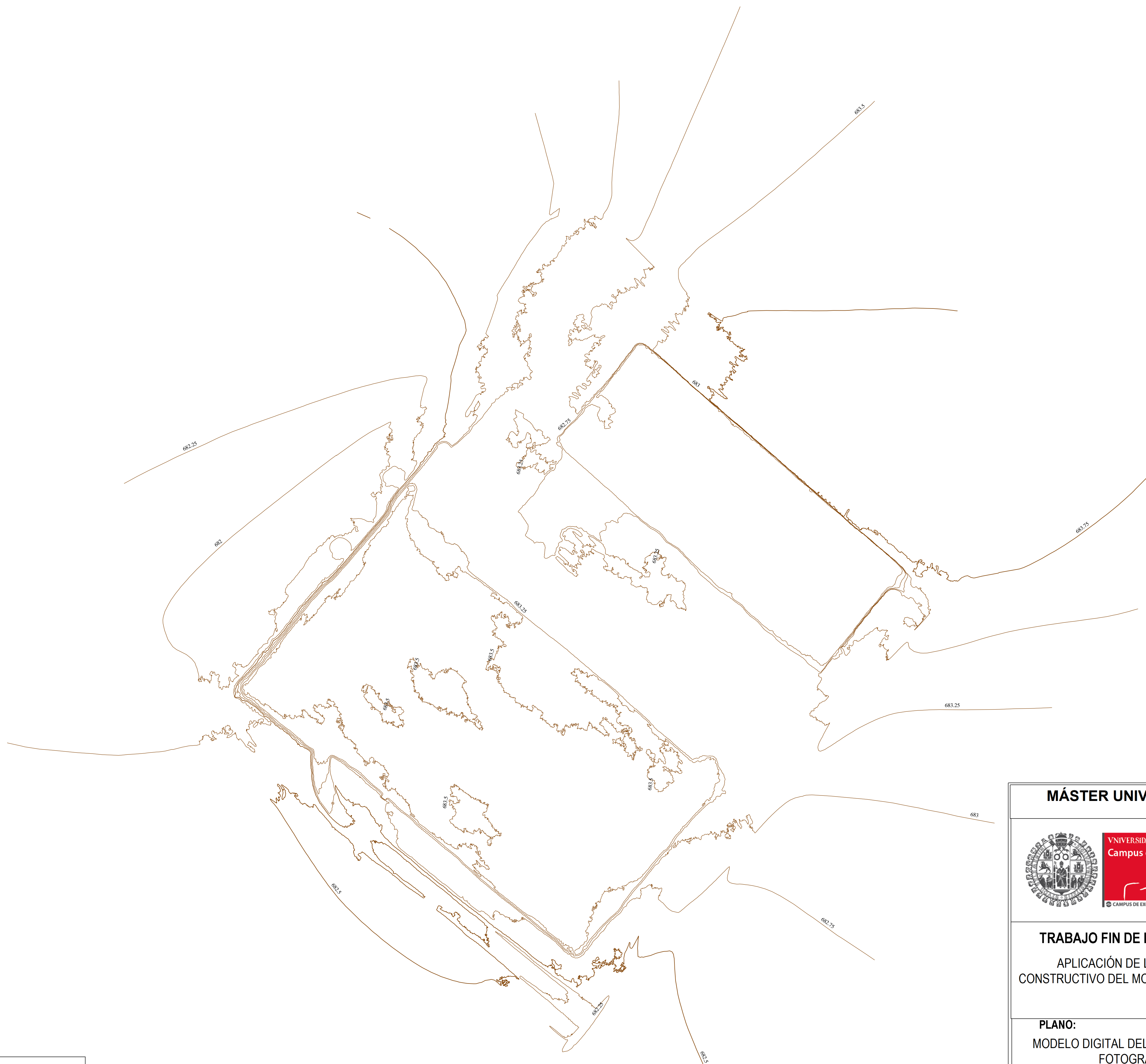


APLICACIÓN DE LAS GEOTECNOLOGÍAS CARTOGRÁFICAS PARA EL SEGUIMIENTO
CONSTRUCTIVO DEL MOVIMIENTO DE TIERRAS DE UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA Y SU CAMINO
DE ACCESO

ALUMNO: **LUCIO LÓPEZ CIFUENTES**
TUTOR: **D. DIEGO GONZÁLEZ AGUILERA**

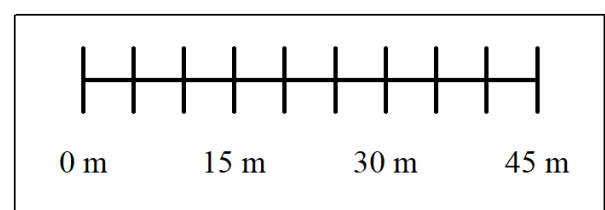
JUNIO-2019



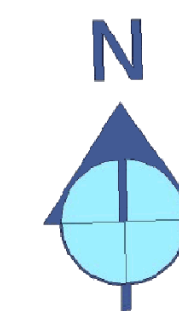


LEYENDA

- Contour Line, Intermediate
- Contour Line, Major



MÁSTER UNIVERSITARIO GEOTECNOLOGÍAS CARTOGRÁFICAS		
		
TRABAJO FIN DE MÁSTER:		
APLICACIÓN DE LAS GEOTECNOLOGÍAS CARTOGRÁFICAS PARA EL SEGUIMIENTO CONSTRUCTIVO DEL MOVIMIENTO DE TIERRAS DE UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA Y SU CAMINO DE ACCESO		
PLANO: MODELO DIGITAL DEL TERRENO. VUELO 3. FOTOGRAMETRÍA	Nº PLANO: 6 HOJA: 1 DE 1	ESCALA: 1 / 750
ALUMNO: LUCIO LÓPEZ CIFUENTES TUTOR: D. DIEGO GONZÁLEZ AGUILERA		 JUNIO-2019



LEYENDA
— Contour Line, Intermediate
— Contour Line, Major

MÁSTER UNIVERSITARIO GEOTECNOLOGÍAS CARTOGRÁFICAS



ESCUELA POLITÉCNICA
SUPERIOR DE ÁVILA



TRABAJO FIN DE MÁSTER:

APLICACIÓN DE LAS GEOTECNOLOGÍAS CARTOGRÁFICAS PARA EL SEGUIMIENTO CONSTRUCTIVO DEL MOVIMIENTO DE TIERRAS DE UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA Y SU CAMINO DE ACCESO

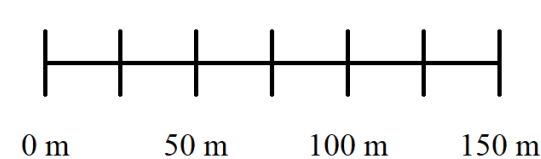
PLANO:
CURVAS DE NIVEL. VUELO 4. FOTOGRAMETRÍA

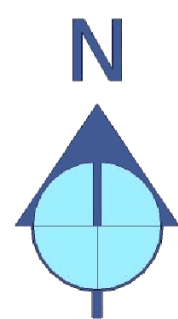
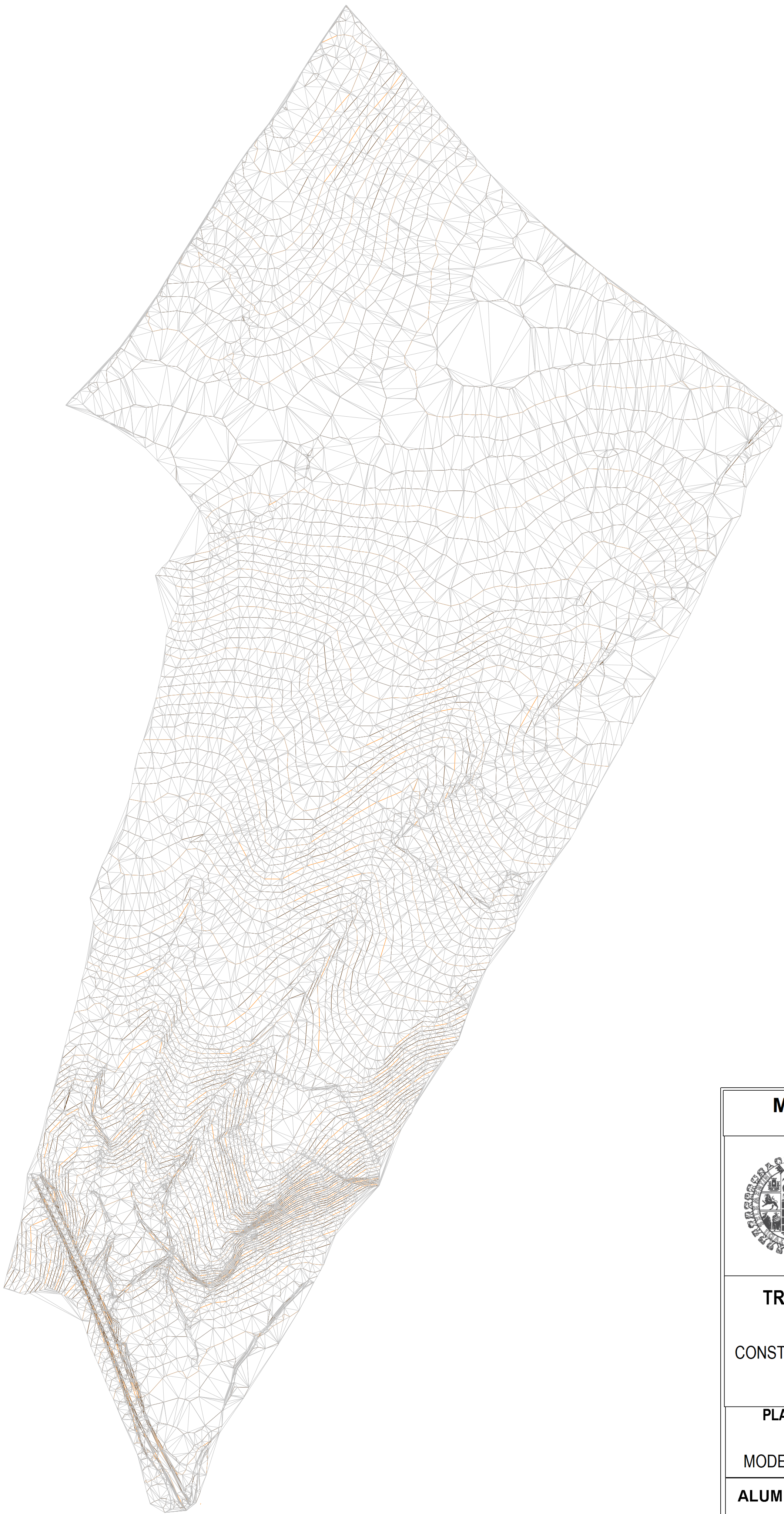
Nº PLANO: 7
ESCALA: 1 / 2500

HOJA: 1 DE 1

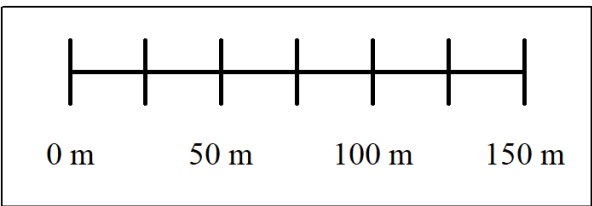
ALUMNO: **LUCIO LÓPEZ CIFUENTES**
TUTOR: **D. DIEGO GONZÁLEZ AGUILERA**

JUNIO-2019

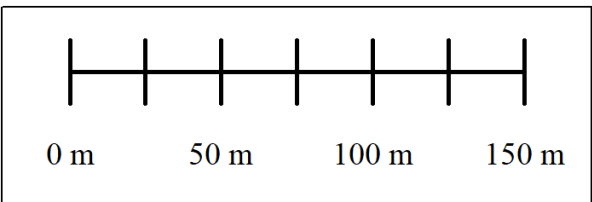
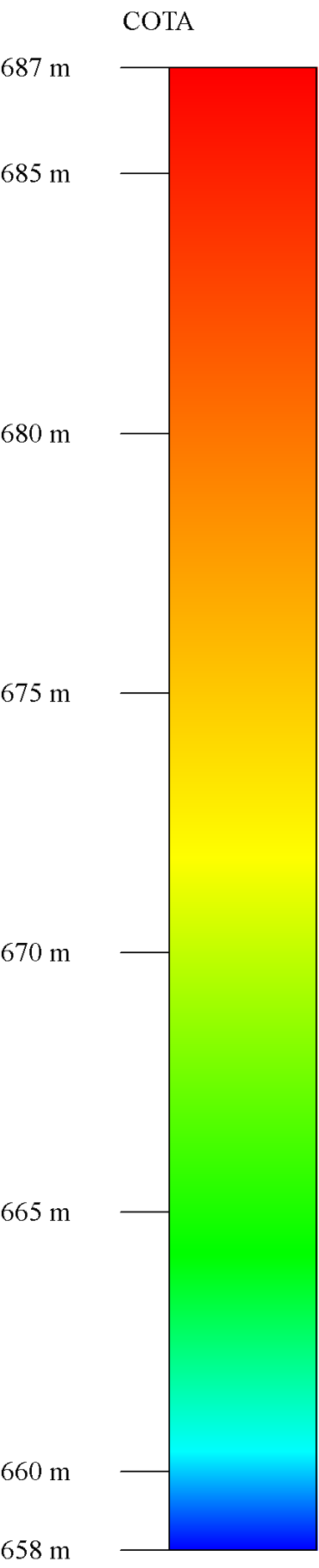
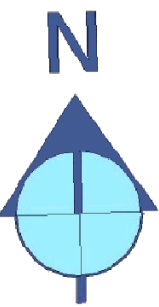
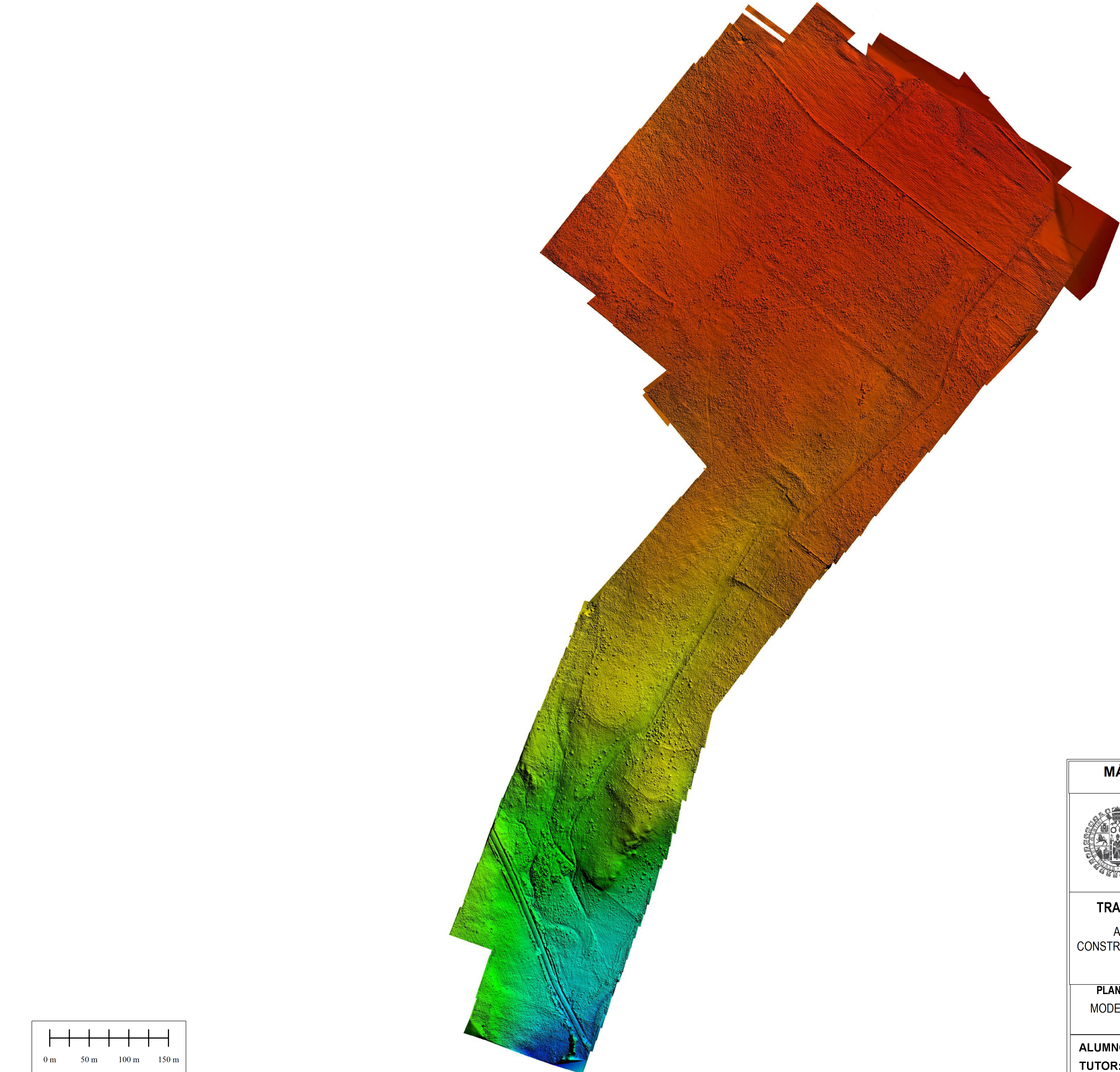






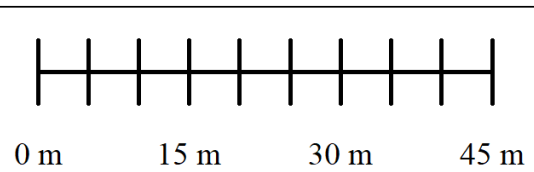
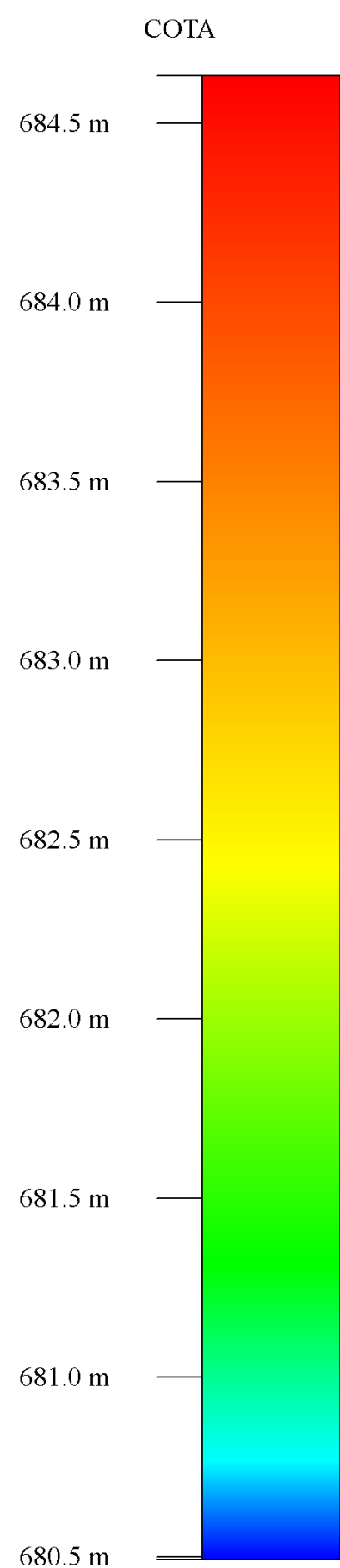
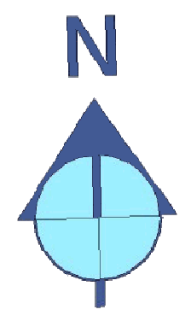
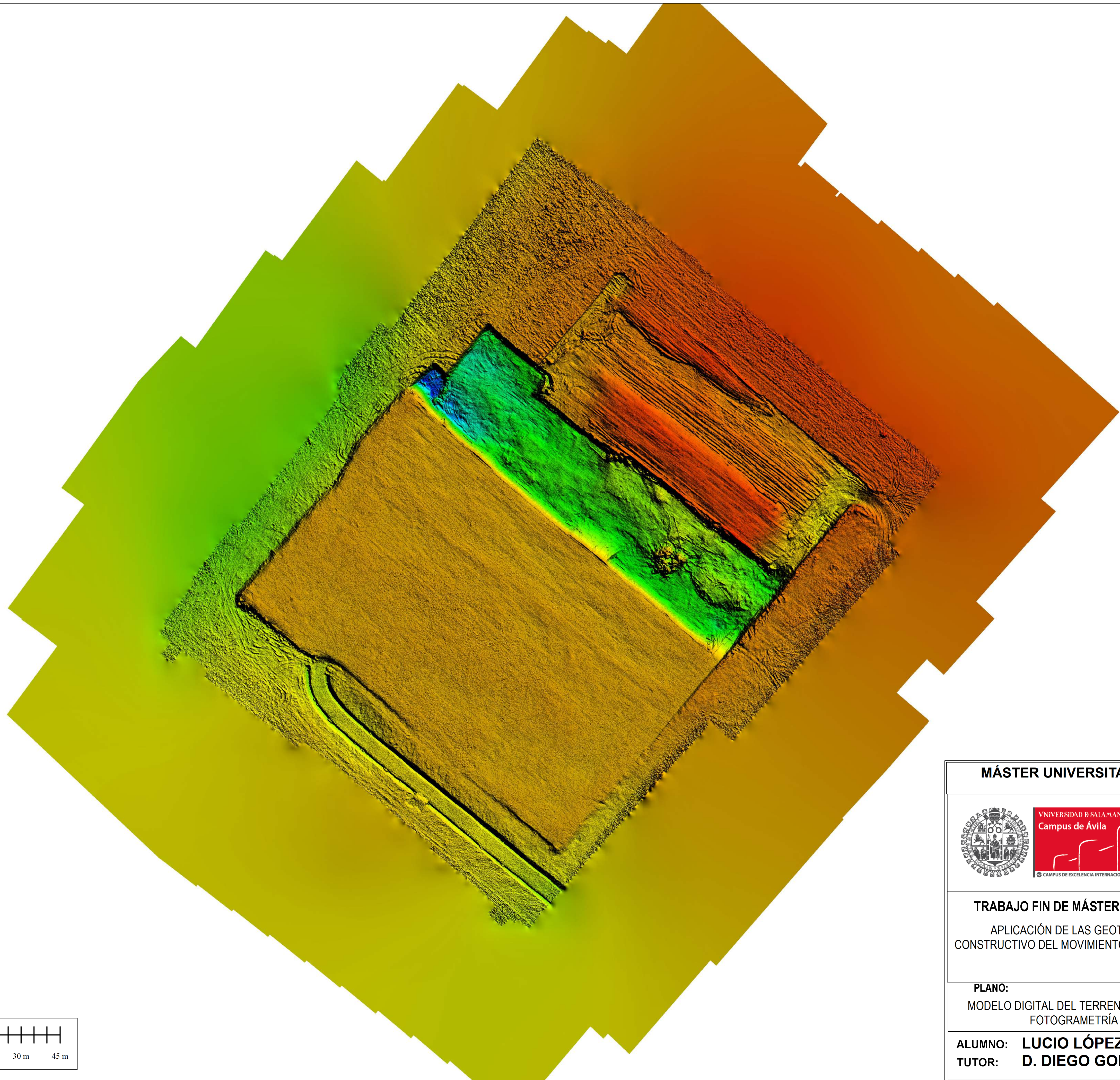
LEYENDA	
	0
	COTAS
	CURVAS
	CURVAS_MAESTRAS
	FORMAS
	FORMAS_2



MÁSTER UNIVERSITARIO GEOTECNOLOGÍAS CARTOGRÁFICAS			
		ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ÁVILA	
TRABAJO FIN DE MÁSTER: APLICACIÓN DE LAS GEOTECNOLOGÍAS CARTOGRÁFICAS PARA EL SEGUIMIENTO CONSTRUCTIVO DEL MOVIMIENTO DE TIERRAS DE UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA Y SU CAMINO DE ACCESO			
PLANO:	Nº PLANO: 8	ESCALA:	1 / 2500
MODELO DIGITAL DEL TERRENO INICIAL. GPS	HOJA: 1 DE 1		
ALUMNO:	LUCIO LÓPEZ CIFUENTES		JUNIO-2019
TUTOR:	D. DIEGO GONZÁLEZ AGUILERA		



MÁSTER UNIVERSITARIO GEOTECNOLOGÍAS CARTOGRÁFICAS		
		ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ÁVILA
		
TRABAJO FIN DE MÁSTER: APLICACIÓN DE LAS GEOTECNOLOGÍAS CARTOGRÁFICAS PARA EL SEGUIMIENTO CONSTRUCTIVO DEL MOVIMIENTO DE TIERRAS DE UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA Y SU CAMINO DE ACCESO		
PLANO: MODELO DIGITAL DEL TERRENO. VUELO 1. FOTOGRAMETRÍA	Nº PLANO: 9 HOJA: 1 DE 1	ESCALA: 1 / 2500
ALUMNO: LUCIO LÓPEZ CIFUENTES TUTOR: D. DIEGO GONZÁLEZ AGUILERA		 JUNIO-2019



MÁSTER UNIVERSITARIO GEOTECNOLOGÍAS CARTOGRÁFICAS



ESCUELA POLITÉCNICA
SUPERIOR DE ÁVILA



TRABAJO FIN DE MÁSTER:

APLICACIÓN DE LAS GEOTECNOLOGÍAS CARTOGRÁFICAS PARA EL SEGUIMIENTO CONSTRUCTIVO DEL MOVIMIENTO DE TIERRAS DE UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA Y SU CAMINO DE ACCESO

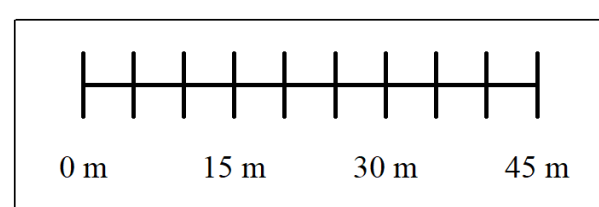
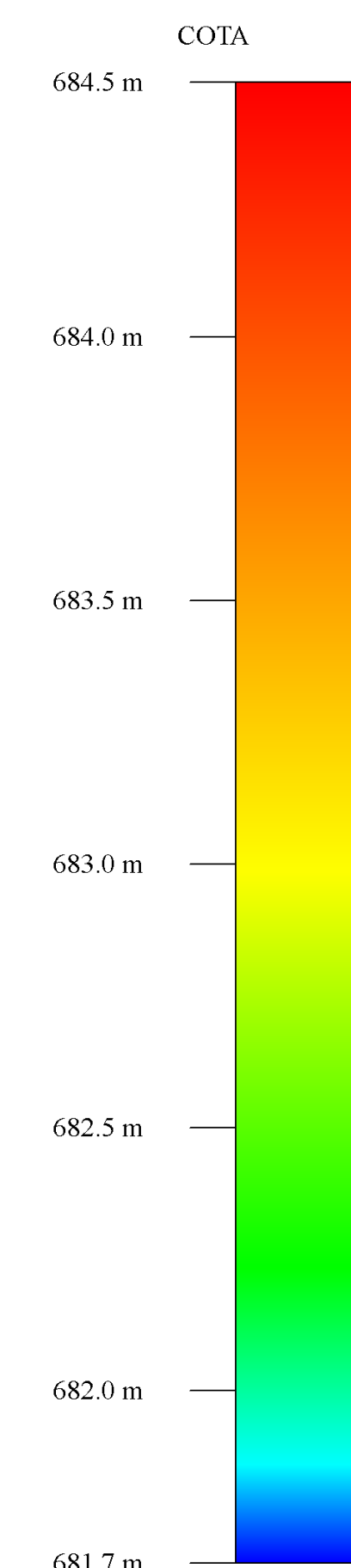
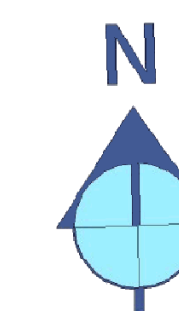
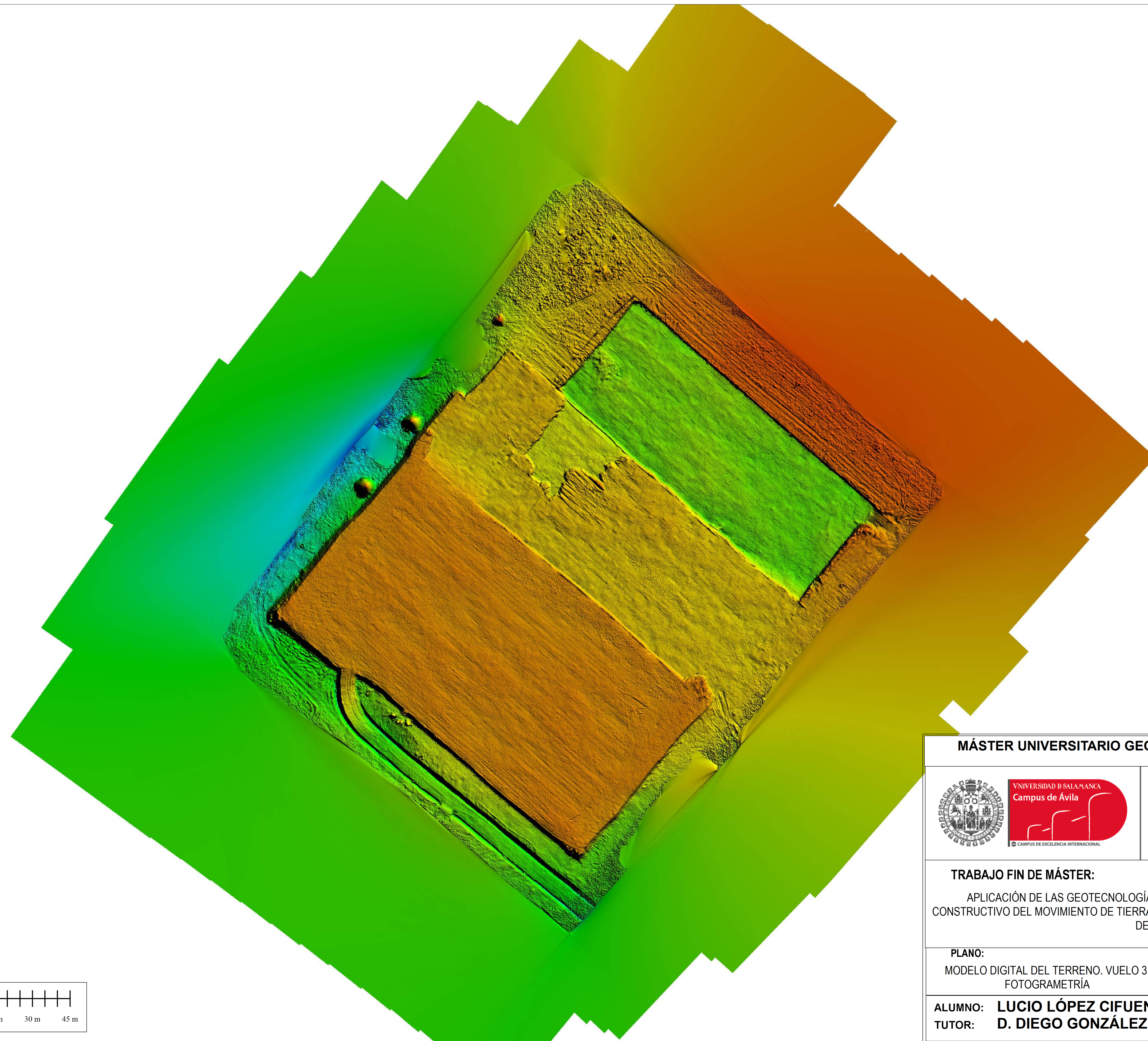
PLANO:
MODELO DIGITAL DEL TERRENO. VUELO 2.
FOTOGRAMETRÍA

Nº PLANO: 10
HOJA: 1 DE 1

ESCALA: 1 / 750

ALUMNO: LUCIO LÓPEZ CIFUENTES
TUTOR: D. DIEGO GONZÁLEZ AGUILERA

JUNIO-2019



MÁSTER UNIVERSITARIO GEOTECNOLOGÍAS CARTOGRÁFICAS



ESCUELA POLITÉCNICA
SUPERIOR DE ÁVILA



TRABAJO FIN DE MÁSTER:

APLICACIÓN DE LAS GEOTECNOLOGÍAS CARTOGRÁFICAS PARA EL SEGUIMIENTO CONSTRUCTIVO DEL MOVIMIENTO DE TIERRAS DE UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA Y SU CAMINO DE ACCESO

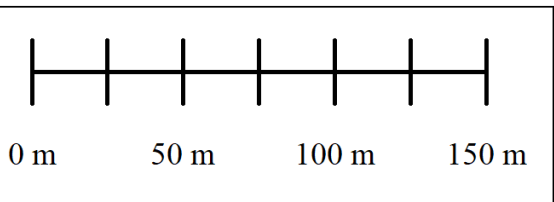
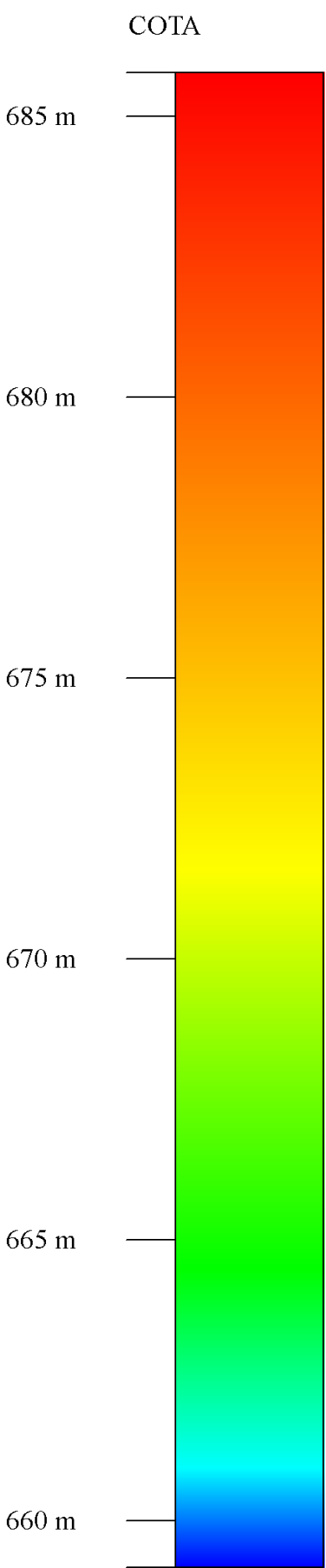
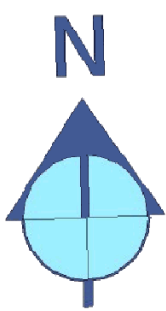
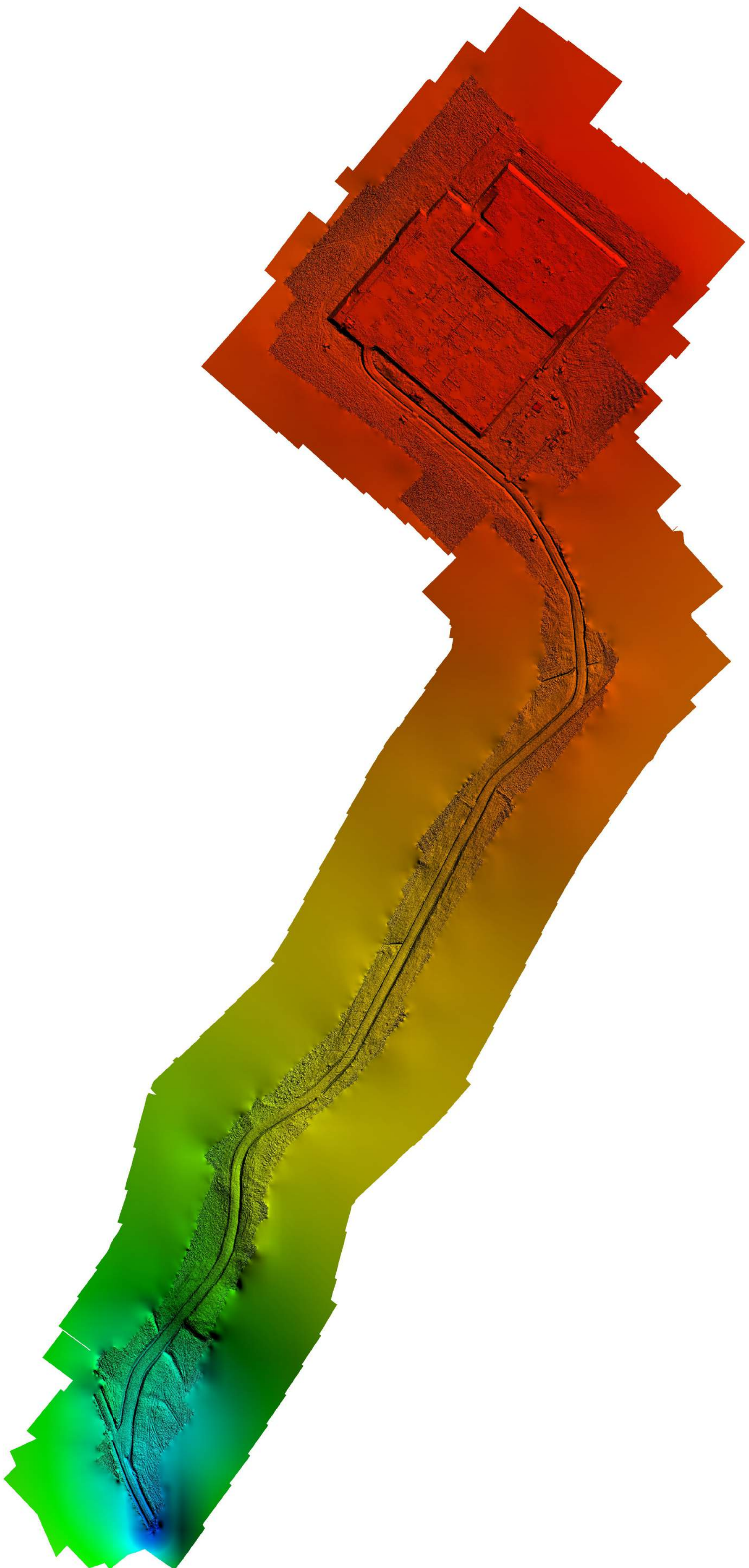
PLANO:
MODELO DIGITAL DEL TERRENO. VUELO 3.
FOTOGRAMETRÍA





Nº PLANO: 11
HOJA: 1 DE 1

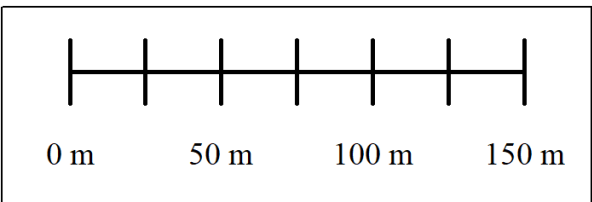
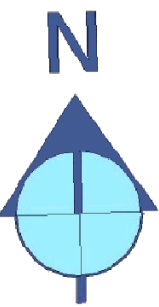
ESCALA: 1 / 750

ALUMNO: **LUCIO LÓPEZ CIFUENTES**
TUTOR: **D. DIEGO GONZÁLEZ AGUILERA**

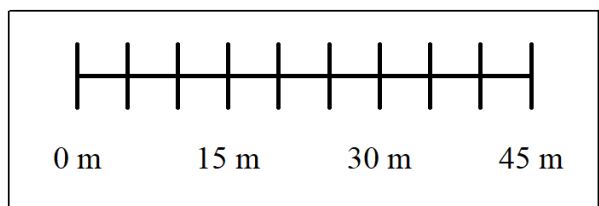
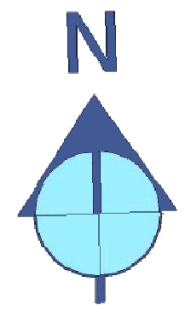
JUNIO-2019




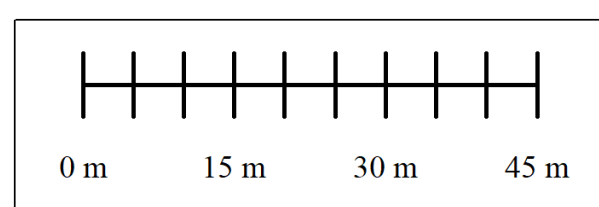
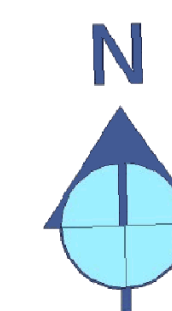
MÁSTER UNIVERSITARIO GEOTECNOLOGÍAS CARTOGRÁFICAS		
		ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ÁVILA
		
TRABAJO FIN DE MÁSTER: APLICACIÓN DE LAS GEOTECNOLOGÍAS CARTOGRÁFICAS PARA EL SEGUIMIENTO CONSTRUCTIVO DEL MOVIMIENTO DE TIERRAS DE UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA Y SU CAMINO DE ACCESO		
PLANO: MODELO DIGITAL DEL TERRENO. VUELO 4. FOTOGRAMETRÍA	Nº PLANO: 12 HOJA: 1 DE 1	ESCALA: 1 / 2500
ALUMNO: LUCIO LÓPEZ CIFUENTES TUTOR: D. DIEGO GONZÁLEZ AGUILERA		 JUNIO-2019



MÁSTER UNIVERSITARIO GEOTECNOLOGÍAS CARTOGRÁFICAS			
		ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ÁVILA	
TRABAJO FIN DE MÁSTER: APLICACIÓN DE LAS GEOTECNOLOGÍAS CARTOGRÁFICAS PARA EL SEGUIMIENTO CONSTRUCTIVO DEL MOVIMIENTO DE TIERRAS DE UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA Y SU CAMINO DE ACCESO			
PLANO: ORTOMOSÁICO. VUELO 1. FOTOGRAMETRÍA		Nº PLANO: 13 HOJA: 1 DE 1	ESCALA: 1 / 2500  JUNIO-2019
ALUMNO: LUCIO LÓPEZ CIFUENTES TUTOR: D. DIEGO GONZÁLEZ AGUILERA			



MÁSTER UNIVERSITARIO GEOTECNOLOGÍAS CARTOGRÁFICAS			
		ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ÁVILA	
TRABAJO FIN DE MÁSTER: APLICACIÓN DE LAS GEOTECNOLOGÍAS CARTOGRÁFICAS PARA EL SEGUIMIENTO CONSTRUCTIVO DEL MOVIMIENTO DE TIERRAS DE UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA Y SU CAMINO DE ACCESO			
PLANO: ORTOMOSÁICO. VUELO 2.		Nº PLANO: 14 HOJA: 1 DE 1	ESCALA: 1 / 750  JUNIO-2019
ALUMNO: LUCIO LÓPEZ CIFUENTES TUTOR: D. DIEGO GONZÁLEZ AGUILERA			



MÁSTER UNIVERSITARIO GEOTECNOLOGÍAS CARTOGRÁFICAS



ESCUELA POLITÉCNICA
SUPERIOR DE ÁVILA



TRABAJO FIN DE MÁSTER:

APLICACIÓN DE LAS GEOTECNOLOGÍAS CARTOGRÁFICAS PARA EL SEGUIMIENTO CONSTRUCTIVO DEL MOVIMIENTO DE TIERRAS DE UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA Y SU CAMINO DE ACCESO

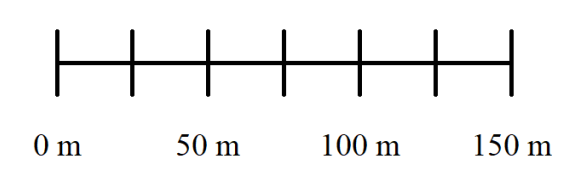
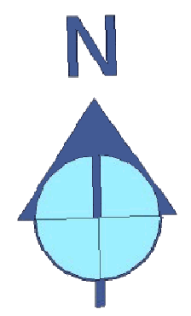
PLANO:
ORTOMOSÁICO. VUELO 3. FOTOGRAMETRÍA

Nº PLANO: 15 **ESCALA:** 1 / 750

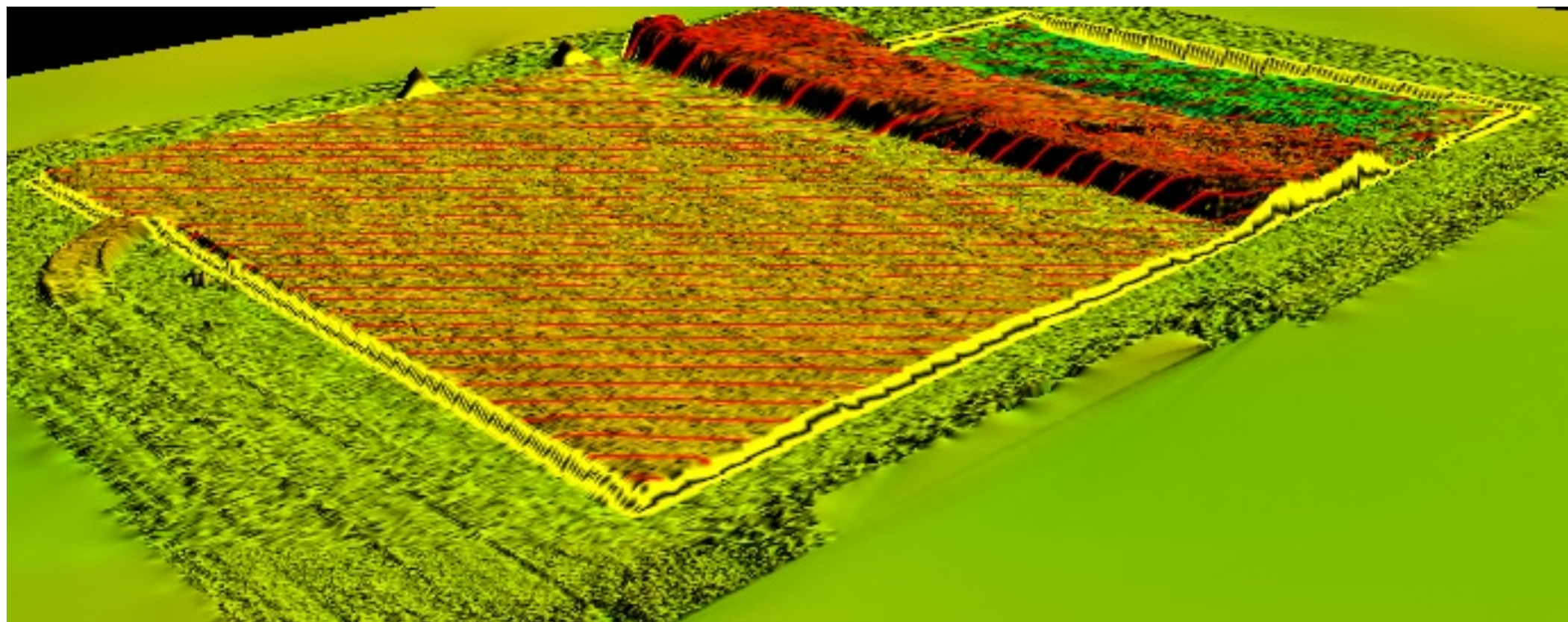
HOJA: 1 DE 1

ALUMNO: LUCIO LÓPEZ CIFUENTES
TUTOR: D. DIEGO GONZÁLEZ AGUILERA

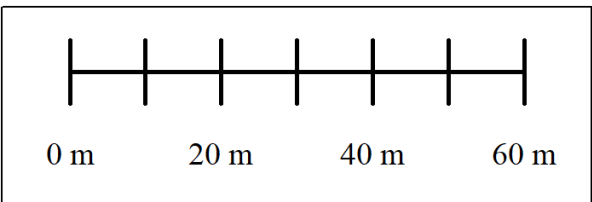
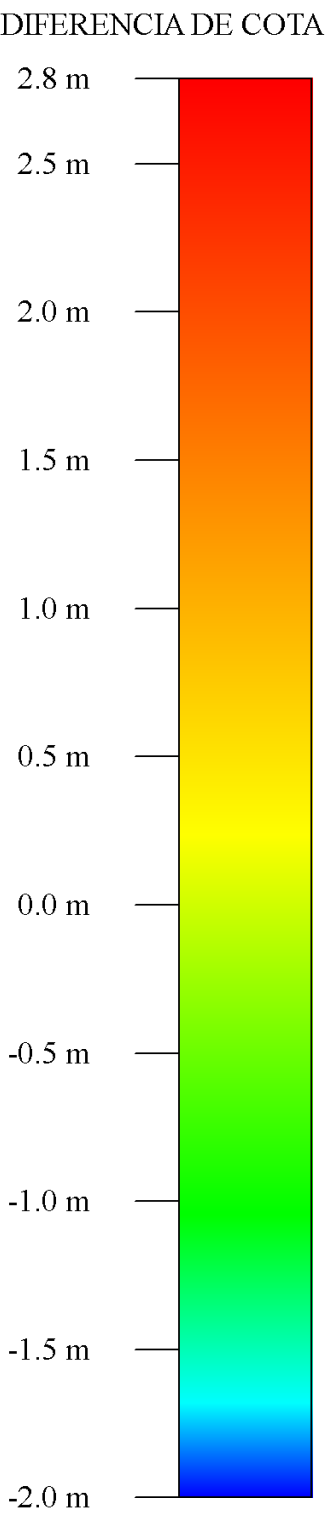
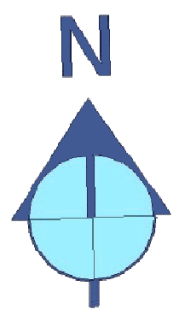
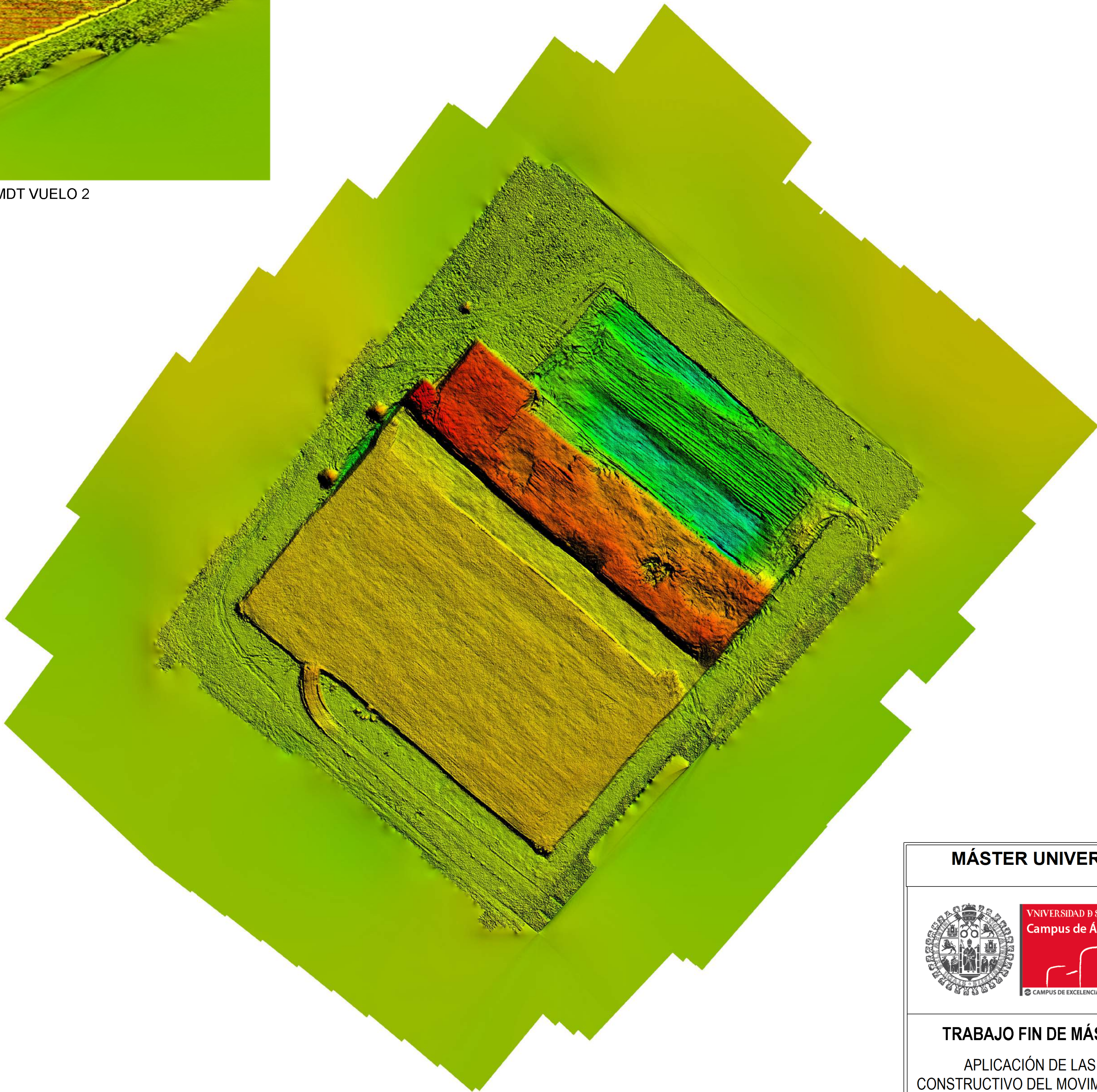
JUNIO-2019



MÁSTER UNIVERSITARIO GEOTECNOLOGÍAS CARTOGRÁFICAS			
		ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ÁVILA	
TRABAJO FIN DE MÁSTER: APLICACIÓN DE LAS GEOTECNOLOGÍAS CARTOGRÁFICAS PARA EL SEGUIMIENTO CONSTRUCTIVO DEL MOVIMIENTO DE TIERRAS DE UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA Y SU CAMINO DE ACCESO			
PLANO: ORTOMOSÁICO. VUELO 4. FOTOGRAMETRÍA	Nº PLANO: 16	ESCALA: 1 / 2500	 JUNIO-2019
ALUMNO: LUCIO LÓPEZ CIFUENTES TUTOR: D. DIEGO GONZÁLEZ AGUILERA	HOJA: 1 DE 1		



VISTA PERSPECTIVA 3D. MDT VUELO 3 - MDT VUELO 2
S/E



CÁLCULO DE VOLÚMENES ENTRE MDT VUELO 3 - VUELO 2							
TOTAL VOLUME	NET VOLUME	CUT VOLUME	CUT AREA	CUT AREA 3D	FILL VOLUME	FILL AREA	FILL AREA 3D
24085.336 cubic meters	-14146.606 cubic meters	4969.3652 cubic meters	0.00667 sq km	0.00689 sq km	19115.971 cubic meters	0.02187 sq km	0.02229 sq km



UNIVERSIDAD DE SALAMANCA

Campus de Ávila

CAMPUS DE EXCELENCIA INTERNACIONAL

ESCUELA POLITÉCNICA

SUPERIOR DE ÁVILA



TRABAJO FIN DE MÁSTER:

APLICACIÓN DE LAS GEOTECNOLOGÍAS CARTOGRÁFICAS PARA EL SEGUIMIENTO CONSTRUCTIVO DEL MOVIMIENTO DE TIERRAS DE UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA Y SU CAMINO DE ACCESO

PLANO:

VOLÚMENES. FOTOGRAMETRÍA

MDT VUELO 3 - MDT VUELO 2

Nº PLANO: 17

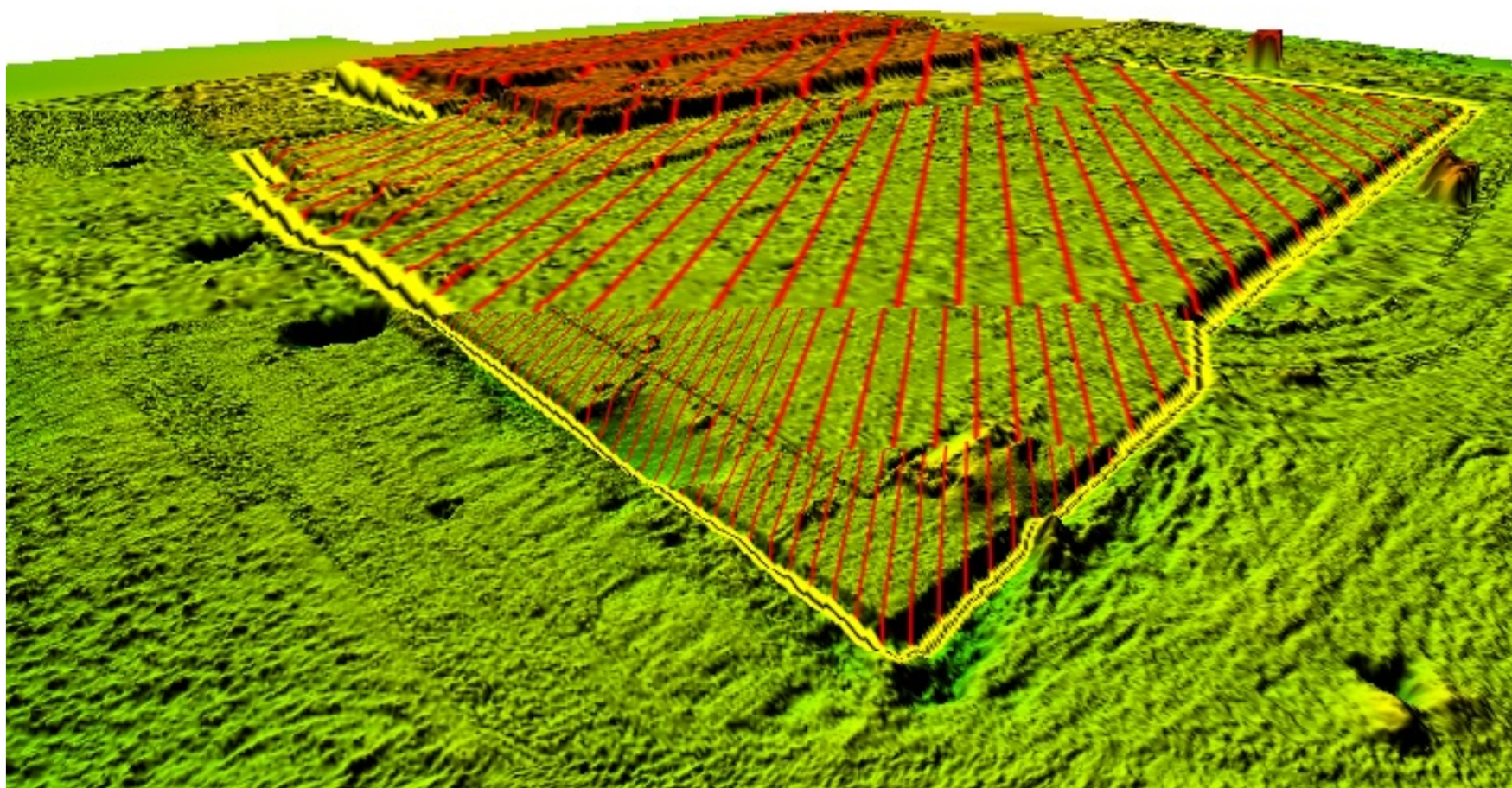
ESCALA: 1 / 1000

ALUMNO: LUCIO LÓPEZ CIFUENTES

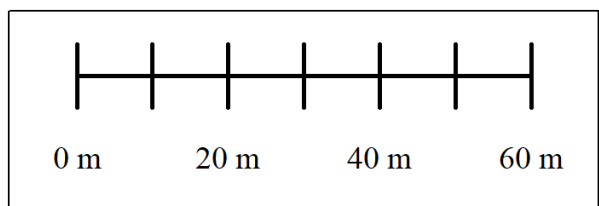
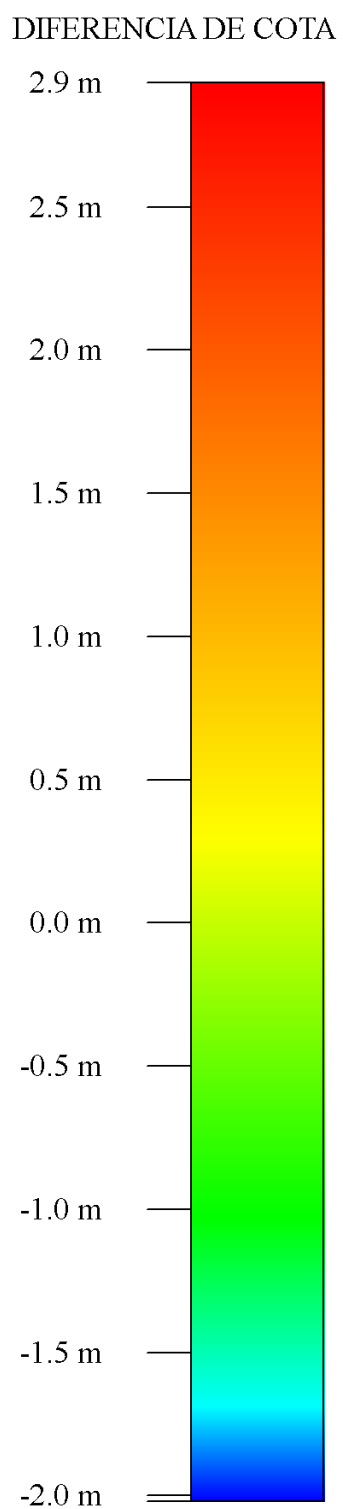
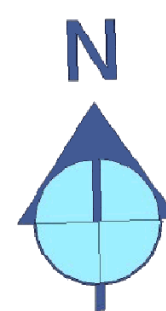
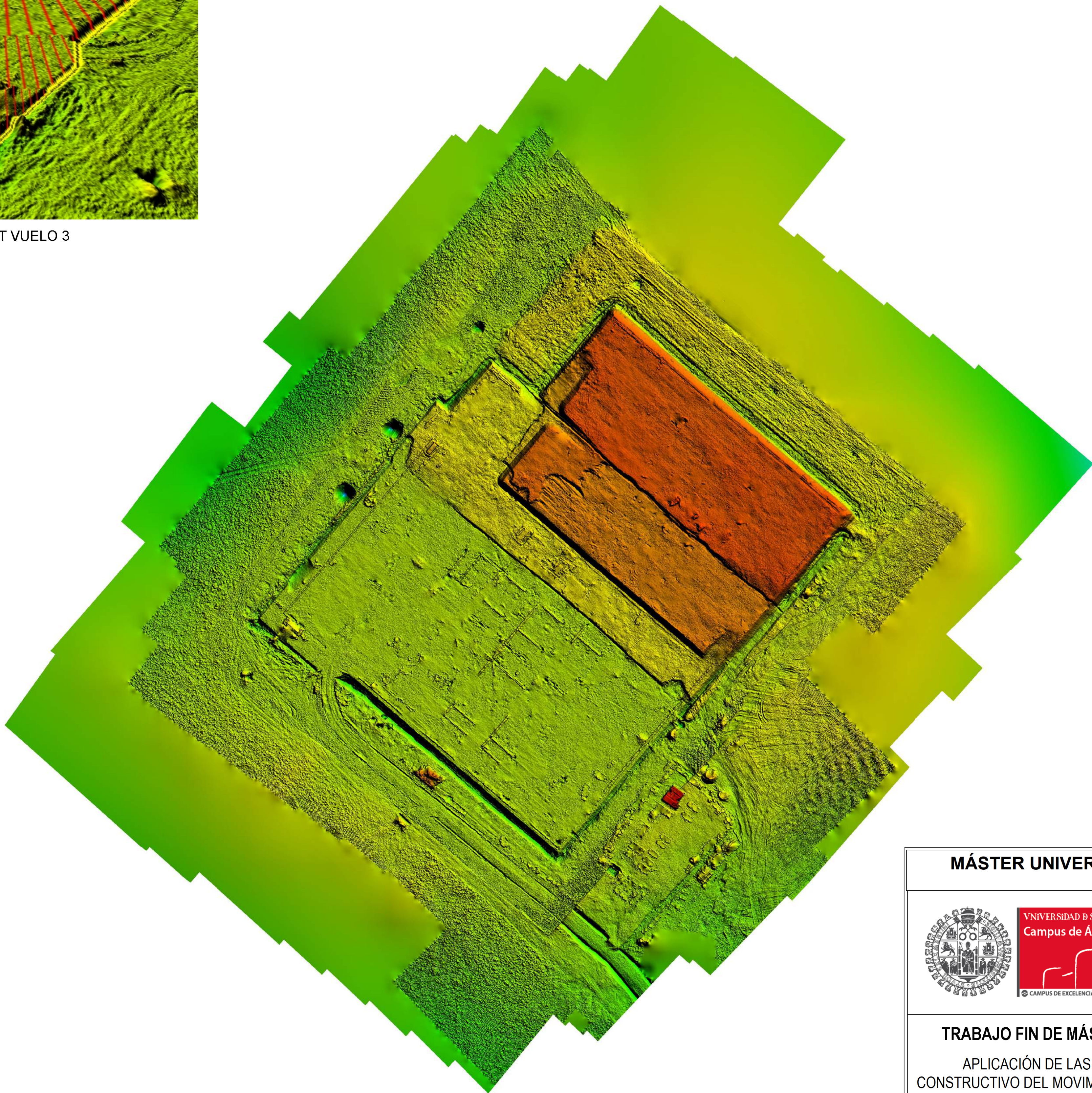
TUTOR: D. DIEGO GONZÁLEZ AGUILERA



JUNIO-2019



VISTA PERSPECTIVA 3D. MDT VUELO 4 - MDT VUELO 3
S/E



CÁLCULO DE VOLÚMENES ENTRE MDT VUELO 4 - VUELO 3							
TOTAL_VOLUME	NET_VOLUME	CUT_VOLUME	CUT_AREA	CUT_AREA_3D	FILL_VOLUME	FILL_AREA	FILL_AREA_3D
22996.447 cubic meters	22951.451 cubic meters	22973.949 cubic meters	0.0275 sq km	0.02791 sq km	22.497988 cubic meters	0.0003168 sq km	0.0003287 sq km

MÁSTER UNIVERSITARIO GEOTECNOLOGÍAS CARTOGRÁFICAS



ESCUELA POLITÉCNICA
SUPERIOR DE ÁVILA



TRABAJO FIN DE MÁSTER:

APLICACIÓN DE LAS GEOTECNOLOGÍAS CARTOGRÁFICAS PARA EL SEGUIMIENTO CONSTRUCTIVO DEL MOVIMIENTO DE TIERRAS DE UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA Y SU CAMINO DE ACCESO

PLANO:
VOLÚMENES. FOTOGRAMETRÍA
MDT VUELO 4 - MDT VUELO 3

Nº PLANO: 18 ESCALA: 1 / 1000

HOJA: 1 DE 1

ALUMNO: LUCIO LÓPEZ CIFUENTES
TUTOR: D. DIEGO GONZÁLEZ AGUILERA

JUNIO-2019

Anexo III. Cálculo de volúmenes.

✓ VOLÚMENES

CÁLCULO DE VOLÚMENES ENTRE MDT VUELO 3 - VUELO 2

TOTAL_VOLUME	NET_VOLUME	CUT_VOLUME	CUT_AREA	CUT_AREA_3D	FILL_VOLUME	FILL_AREA	FILL_AREA_3D
24085.336 cubic meters	-14146.606 cubic meters	4969.3652 cubic meters	0.00667 sq km	0.00689 sq km	19115.971 cubic meters	0.02187 sq km	0.02229 sq km

CÁLCULO DE VOLÚMENES ENTRE MDT VUELO 4 - VUELO 3

TOTAL_VOLUME	NET_VOLUME	CUT_VOLUME	CUT_AREA	CUT_AREA_3D	FILL_VOLUME	FILL_AREA	FILL_AREA_3D
22996.447 cubic meters	22951.451 cubic meters	22973.949 cubic meters	0.0275 sq km	0.02791 sq km	22.497988 cubic meters	0.0003168 sq km	0.0003287 sq km